国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

智能制造装备

Intelligent Manufacturing Equipment

孙容磊 主编

机械工业出版社
China Machine Press

本书共分 3 篇 16 章，分别由智能制造装备产业发展综述、智能制造装备产业重大发展方向与支撑技术、智能制造装备产业战略指导组成。本书主要剖析国内外科技与产业发展状况，探讨目前我国智能制造装备科技与产业发展存在的问题，并研究现行的相关产业政策、未来规划等，结合我国产业状况、优势和国外技术发展前沿，提出发展方向、发展策略等。

本书资料详实，具有一定的思想、理论深度，适合各级政府和行业决策机构制定政策法规、学术研究机构规划研究方向参考，也适合企业决策者，技术、管理及市场人员，以及投资、证券行业及咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目（CIP）数据

中国战略性新兴产业研究与发展．智能制造装备 / 孙容磊主编．—北京：机械工业出版社，2016.9
ISBN 978-7-111-54872-0

Ⅰ．①中… Ⅱ．①孙… Ⅲ．①新兴产业－产业发展－研究－中国②智能制造系统－制造工业－产业发展－研究－中国 Ⅳ．①F121.3 ②F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 222673 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
责任编辑：王迺娟　　责任校对：舒　莹
北京宝昌彩色印刷有限公司印制
2016 年 11 月第 1 版第 1 次印刷
170mm×242mm • 15.25 印张 • 290 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-54872-0
定价：108.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	年 鉴 网：http://www.cmiy.com
销 售 一 部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)68326643	**封面无机械工业出版社专用防伪标均为盗版**

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会

主　任　路甬祥　第十届、十一届全国人大常委会副委员长，中国科学院院士、中国工程院院士

副主任　苏　波　中纪委驻中央统战部纪检组组长

王文斌　中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委　员　（按姓氏笔画排序）

石　勇　机械工业信息研究院副院长

冯金尧　中国机械通用零部件工业协会紧固件分会会长

邢　敏　中国内燃机工业协会常务副会长兼秘书长

刘庆宾　重庆材料研究院有限公司董事长兼总经理、中国仪器仪表行业协会仪表功能材料分会理事长

孙容磊　华中科技大学教授、中国人工智能学会智能制造专业委员会秘书长

吴正元　南京聚隆股份有限公司董事

张建成　兰州长城电工股份有限公司副总经理、总工程师

陆大明　中国机械工程学会物流工程分会理事长、北京起重运输机械设计研究院名誉院长

武兵书　中国模具工业协会常务副会长兼秘书长

赵志明　中国石油和石油化工设备工业协会首席顾问

徐东华　国资委机械工业经济管理研究院院长、国务院发展研究中心研究员

郭　锐　机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社总编辑

蒋善武　天安电气集团有限公司总裁

景晓波　工业和信息化部运行监测协调局副巡视员

谢三明　工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

樊高定　中国制冷空调工业协会常务副理事长

瞿金平　华南理工大学教授、中国工程院院士

《中国战略性新兴产业研究与发展·智能制造装备》

执行编委会

主　　编　孙容磊

撰 稿 人（排名不分先后）

孙容磊　陈艳妮　张　鹏　黄文宗　连海涛

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主　　任　石　勇（兼）

副 主 任　李卫玲

成　　员　刘世博　任智惠　董　蕾　李　晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来 5 ～ 10 年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性

新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业的结构调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必

然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现出“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分

册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单的网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨 —— 不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有60年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！

是为序。

路甬祥

2012年2月6日于北京

前言

互联网、大数据、云计算、人机交互等新一代信息技术正在重构人类的生产和生活方式，也将促进制造业的变革。智能化、网络化、数字化已成为制造业的发展方向，环境友好、资源节约、人机和谐日益成为制造业的刚性约束，开放、共享、共创正逐步改变着制造业的发展理念。面对新的世界经济形势和发展机遇，我国相继发布了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》和《中国制造2025》，智能制造已成为落实制造强国战略的重要举措和主攻方向，未来10～15年，我国智能制造及智能制造装备产业将迎来重要的历史发展机遇。

本书分三部分详细介绍了智能制造装备的内涵和国内外智能制造装备产业的发展现状，深入系统地分析了智能制造装备产业重大发展方向与支撑技术，提出了智能制造产业发展战略规划与建议。全书内容如下：

第一部分介绍了智能制造装备的内涵，剖析、分析了国内外智能制造装备产业的发展历程、发展特点以及主要国家的科技产业政策。

第二部分以重大发展方向和支撑技术为线索，深入系统地分析了智能制造装备产业链的发展状况。其中第一章至第三章分别分析了智能机床、工业机器人、增材制造的产业发展状况，第四章分析了智能工厂的产业发展状况，第五章至第八章分别介绍了支撑智能制造的云制造、工业大数据、工业互联网、工业信息安全的产业发展状况。每章均详细分析了产业发展的关键技术、技术发展趋势和国内外产业发展动态，结合我国产业发展所面临的问题和挑战，提出了发展重点与对策。

第三部分结合《中国制造2025》以及《国民经济和社会发展第十三个五年（2016—2020年）规划纲要》，论证了我国智能制造装备

产业的发展重点、发展目标、发展规划与战略布局，从资源、市场、风险三方面分析了智能制造装备产业发展的可行性，探讨了开展智能制造产业国际合作与竞争的必要性、现实基础以及主要模式，提出了智能制造装备产业可持续发展的注意事项。

本书兼顾智能制造装备产业发展和技术体系分析，既可供政府管理部门、智库及咨询机构、企业管理人员在制定产业政策和发展规划时参考，又可供各类技术管理人员、工程技术人员了解、学习智能制造及相关产业的基本概念和技术体系时使用。

智能制造理论与智能制造装备产业正处于快速形成与发展阶段，部分观点尚未形成共识，不同领域的研究人员有不同的认识与解读，加之笔者水平和能力有限，书中难免存在不足和可商榷之处，欢迎广大读者批评指正。

2016 年 7 月 5 日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来几年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期12个分册图书已于2013年底完成出版，包括：太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。本次出版第二期13个分册图书，包括：功能材料、物流仓储装备、紧固件、模具、内燃机、塑料机械、塑木复合材料、物联网、制冷空调、智能制造、非常规油气、中压开关和工业网络信息安全。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会原副委员长路甬祥

担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出了“六个特点”和“四性”的具体要求。对每个分册的内容重点提出了具体的建议要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2016 年 3 月

目录 CONTENTS

序言
前言
编写说明

第 1 篇　智能制造装备产业发展综述

第 1 章　智能制造装备产业概述 …… 2
1.1　智能制造装备的特征 …… 3
1.2　典型智能制造装备 …… 4
1.3　产业发展的重要性 …… 5
第 2 章　我国智能制造装备产业发展分析 …… 7
2.1　产业发展概况 …… 7
2.2　产业发展规模与成就 …… 10
2.2.1　“十一五”期间装备制造业的成就 …… 10
2.2.2　“十二五”期间装备制造业的成就 …… 11
2.3　产业发展政策 …… 14
2.3.1　智能制造“十二五”规划 …… 14
2.3.2　中国制造 2025 …… 17
2.4　产业发展过程中存在的主要问题 …… 20
2.5　推动产业发展的关键措施 …… 22
第 3 章　国外智能制造装备产业发展分析 …… 26
3.1　发达国家智能制造装备产业的发展特点 …… 26
3.1.1　美国智能制造装备产业的发展特点 …… 27
3.1.2　日本智能制造装备产业的发展特点 …… 28
3.1.3　德国智能制造装备产业的发展特点 …… 29
3.2　国外智能制造装备产业发展政策支持 …… 30
3.2.1　美国产业发展政策支持 …… 30

3.2.2 日韩产业发展政策支持 …… 31
3.2.3 欧盟产业发展政策支持 …… 32
3.3 国外智能制造装备产业发展经验 …… 33
3.3.1 美国智能制造装备产业的成功经验 …… 33
3.3.2 日本智能制造装备产业的振兴之路 …… 35
3.3.3 德国智能制造装备产业的发展经验 …… 39
第4章 国内外智能制造装备产业发展比较 …… 41
4.1 产业发展阶段和技术水平比较 …… 41
4.2 发展规模比较 …… 42
4.3 管理方式比较 …… 43
参考文献 …… 45

第2篇 智能制造装备产业重大发展方向与支撑技术

第5章 智能机床 …… 50
5.1 智能机床概述 …… 50
5.2 智能机床的关键技术与主要功能 …… 51
5.2.1 智能机床的关键技术 …… 51
5.2.2 智能机床的主要功能 …… 54
5.3 国外智能机床产业发展概述 …… 55
5.4 我国智能机床产业发展概述 …… 58
5.5 存在的问题 …… 60
5.6 发展重点 …… 61
5.7 发展趋势 …… 62
5.8 发展对策 …… 63
参考文献 …… 64
第6章 工业机器人 …… 65
6.1 工业机器人概述 …… 65
6.2 工业机器人核心关键技术 …… 67
6.2.1 工业机器人环境感知与传感技术 …… 67
6.2.2 工业机器人轨迹规划与自动编程技术 …… 67
6.2.3 工业机器人控制系统技术 …… 68

6.2.4 工业机器人人机交互技术 …… 68
6.2.5 工业机器人自主导航技术 …… 68
6.3 国外工业机器人产业发展概述 …… 69
6.4 我国工业机器人产业发展概述 …… 74
6.5 存在的问题 …… 78
6.6 发展重点 …… 78
6.7 产业发展趋势 …… 80
6.8 发展对策 …… 81
参考文献 …… 82
第7章 增材制造 …… 83
7.1 增材制造概述 …… 83
7.2 增材制造装备核心关键技术 …… 85
7.2.1 成型新材料 …… 85
7.2.2 粉末制造技术 …… 86
7.2.3 精度控制技术 …… 86
7.2.4 快速成型工艺后处理技术 …… 87
7.2.5 快速成型软件 …… 87
7.2.6 激光技术 …… 87
7.2.7 直写技术 …… 88
7.3 国外增材制造装备产业发展概况 …… 88
7.4 我国增材制造装备产业发展概况 …… 92
7.5 存在的问题 …… 97
7.6 发展重点 …… 98
7.7 发展趋势 …… 99
7.8 发展对策 …… 100
参考文献 …… 101
第8章 智慧工厂 …… 102
8.1 智慧工厂概述 …… 102
8.2 核心技术 …… 104
8.2.1 工业互联网技术 …… 104
8.2.2 大数据分析与云计算技术 …… 104
8.2.3 决策分析技术 …… 105

8.2.4 设备端智能化技术 …… 105
8.3 国外智慧工厂产业发展概况 …… 105
8.4 我国智慧工厂产业发展概况 …… 107
8.5 存在的问题 …… 108
8.6 发展趋势 …… 109
8.7 发展重点 …… 110
8.8 发展对策 …… 111
参考文献 …… 113
第9章 云制造 …… 114
9.1 云制造概述 …… 114
9.2 云制造核心技术 …… 116
9.2.1 云制造总体技术 …… 116
9.2.2 云端化技术 …… 116
9.2.3 云制造服务环境构建与管理技术 …… 117
9.2.4 云制造业务运行、管理模式与技术 …… 117
9.2.5 云制造普适人机交互技术 …… 118
9.2.6 云制造可信与安全制造服务技术 …… 118
9.3 国外云制造产业发展概述 …… 118
9.4 我国云制造产业发展概述 …… 120
9.5 存在的问题 …… 123
9.6 发展重点 …… 126
9.7 发展趋势 …… 126
9.8 发展对策 …… 127
参考文献 …… 128
第10章 工业大数据 …… 130
10.1 工业大数据概述 …… 130
10.2 核心技术 …… 132
10.2.1 工业大数据采集与预处理 …… 132
10.2.2 工业大数据存储与管理 …… 133
10.2.3 工业大数据计算模式与系统 …… 133
10.2.4 工业大数据分析与挖掘 …… 134
10.2.5 大数据可视化分析 …… 134

10.2.6 大数据隐私与安全 …… 134
10.3 国外工业大数据产业发展概况 …… 135
10.4 我国工业大数据产业发展概况 …… 137
10.5 存在的问题 …… 139
10.6 发展重点 …… 141
10.7 发展趋势 …… 142
10.8 发展对策 …… 143
参考文献 …… 145
第 11 章 工业互联网 …… 146
11.1 工业互联网概述 …… 146
11.2 工业互联网核心技术 …… 148
11.2.1 工业互联网体系架构技术 …… 148
11.2.2 工业互联网实时通信技术 …… 149
11.2.3 工业异构异质网络的融合技术 …… 149
11.2.4 工业大数据的存取和利用技术 …… 149
11.2.5 工业互联网的安全技术 …… 149
11.3 国外工业互联网产业发展概况 …… 150
11.4 我国工业互联网产业发展概况 …… 152
11.5 存在的问题 …… 155
11.6 发展重点 …… 156
11.7 发展趋势 …… 158
11.8 发展对策 …… 159
参考文献 …… 160
第 12 章 工业信息安全 …… 161
12.1 工业信息安全概述 …… 161
12.2 工业信息安全的核心技术 …… 163
12.2.1 工业网络信息安全总体技术 …… 163
12.2.2 工控系统信息安全等级保护技术 …… 163
12.2.3 大数据分析、漏洞挖掘技术 …… 163
12.2.4 防火墙技术 …… 163
12.2.5 工控系统纵深防护技术 …… 164
12.2.6 可信计算应用技术 …… 164

12.2.7 工控系统安全风险评估技术 …… 165
12.3 国外工业信息安全产业发展概况 …… 165
12.4 国内工业信息安全产业发展概况 …… 168
12.5 存在的问题 …… 169
12.6 发展重点 …… 171
12.7 发展趋势 …… 172
12.8 发展对策 …… 173
参考文献 …… 174

第 3 篇 智能制造装备产业发展战略指导

第 13 章 智能制造装备产业发展规划 …… 178
13.1 发展重点 …… 178
13.2 发展目标 …… 180
13.2.1 操作系统与工业软件 …… 180
13.2.2 智能制造核心信息设备 …… 180
13.2.3 高档数控机床与基础制造装备 …… 181
13.2.4 工业机器人 …… 181
13.2.5 增材制造 …… 181
13.3 技术创新发展规划 …… 182
13.3.1 操作系统与工业软件 …… 182
13.3.2 智能制造核心信息设备 …… 182
13.3.3 智能机床 …… 183
13.3.4 工业机器人 …… 183
13.3.5 增材制造 …… 184
13.4 发展布局 …… 184
13.4.1 测控装置 …… 184
13.4.2 关键执行与传动零部件 …… 185
13.4.3 智能制造主机与成套系统 …… 186
13.5 产业链布局 …… 187
13.5.1 高端数控机床产业链 …… 188
13.5.2 工业机器人产业链 …… 188

13.5.3 增材制造产业链 …… 188
13.5.4 工业大数据产业链 …… 189
13.5.5 工业信息安全产业链 …… 189
13.5.6 虚拟现实与增强现实产业链 …… 190
13.6 发展模式与发展理念 …… 190
第 14 章 可行性分析 …… 192
14.1 资源分析 …… 192
14.1.1 高素质人才资源 …… 192
14.1.2 智能制造装备产业发展的现有基础 …… 193
14.1.3 资金来源与体制 …… 195
14.2 市场需求分析 …… 199
14.2.1 国外市场前景分析 …… 199
14.2.2 国内市场前景分析 …… 201
14.3 风险分析 …… 203
第 15 章 国际合作与竞争 …… 204
15.1 我国开展智能制造产业国际合作的必要性 …… 204
15.2 我国开展智能制造产业国际合作的现实基础 …… 206
15.3 我国开展智能制造产业国际合作的主要模式 …… 207
第 16 章 发展智能制造产业注意事项 …… 210
16.1 注重智能制造产业绿色发展 …… 210
16.2 承担智能制造企业的社会责任 …… 211
16.3 积极推进标准化进程 …… 212
16.4 优化创新创业环境 …… 214
16.5 注重专利与知识产权保护 …… 215
参考文献 …… 219

第 1 篇

智能制造装备产业发展综述

第 1 章　智能制造装备产业概述

纵观世界工业的发展历史，科技创新始终是推动人类社会生产生活方式产生深刻变革的重要力量。18 世纪 60 年代，近代力学、热力学在理论上取得重大突破，促进了蒸汽机技术的发展和蒸汽机的广泛应用，拉开了第一次产业革命的序幕，人类步入了“蒸汽时代”。19 世纪 70 年代，由于电现象、磁现象、电磁感应现象的发现，电力技术成为科技研究的重点，导致了第二次产业革命产生，人类迈入了“电气时代”。第二次世界大战以后，半导体物理、相对论、量子力学、计算机科学、通信科学、控制论、生物科学、智能科学、现代数学等基础理论的突破，促进了原子技术、电子技术、信息技术、能源技术、空间技术、制造技术及一系列高新技术的发展。技术的进步推动了制造领域新一轮的产业变革，以互联网、大数据、云计算为代表的新一代信息技术与传统工业融合发展，制造业呈现出新的方向，以智能化、网络化、数字化、服务化、绿色化为核心特征的智能制造成为制造业发展的重大趋势。

智能制造（Intelligent Manufacturing，IM）是研究制造活动中的信息感知与分析、知识表达与学习、自主决策与优化、自律执行与控制的一门综合交叉技术。智能制造的提出是技术创新累积到一定程度的必然结果，是制造业依据其内在发展逻辑经过长时间的演变和整合逐步形成的制造模式。智能制造是集成制造、精益生产、敏捷制造、虚拟制造、数字化制造、网络化制造等多种先进制造系统和模式的综合，它通过信息物理系统（CPS），实现人、设备、产品、服务等制造要素与资源的相互识别、实时交互和信息集成，改变了制造业设计、制造、管理、服务的方式。智能制造的应用可望降低生产加工过程对劳动者智力的依赖，完成复杂的任务，提高生产质量，节约加工成本，其灵活化、方便化、个性化的生产组织方式，也使得中小型企业在竞争中更具有优势，承担的风险更低。

智能制造装备是智能制造技术的重要载体。智能制造装备融合了先进制造技术、数字控制技术、现代传感技术以及人工智能技术，具有感知、学习、决策、执行等功能，是实现高效、高品质、节能环保和安全可靠生产的下一代制造装备。智能制造装备是传统制造产业升级改造，实现生产过程自动化、智能化、精

密化、绿色化的有力工具，是培育和发展战略性新兴产业的重要支撑，也是衡量一个国家工业化水平的重要标志。

1.1 智能制造装备的特征

和传统的制造装备相比，智能制造装备具有对装备运行状态和环境的实时感知、处理和分析能力；根据装备运行状态变化自主规划、控制和决策能力；对故障的自诊断自修复能力；对自身性能劣化的主动分析和维护能力；参与网络集成和网络协同的能力。

1. 自我感知能力

智能制造装备具有收集和理解工作环境信息、实时获取自身状态信息的能力。智能制造装备能够准确获取表征装备运行状态的各种信息，并对信息进行初步的理解和加工，提取主要特征成分，反映装备的工作性能。自我感知能力是整个制造系统获取信息的源头。

2. 自主规划和决策能力

智能制造装备能够依据不同来源的信息进行分析、判断和规划自身行为。智能制造装备能根据环境和自身作业状况的信息进行实时规划和决策，并根据处理结果自行调整控制策略至最优运行方案。这种自律能力使整个制造系统具备抗干扰、自适应和容错等能力。

3. 自学习和自维护能力

智能制造装备能够自主建立强有力的知识库和基于知识的模型，并以专家知识为基础，通过运用知识库中的知识，进行有效的推理判断，并进一步获取新的知识，更新并删除低质量知识，在系统运行过程中不断地丰富和完善知识库，通过学习使知识库不断进化，更加丰富、合理。智能制造装备能够对系统进行故障诊断、排除及修复，并依据专家知识库提供相应的解决维护方案，保持系统在正常状态下运行。这种特征使智能制造装备能够自我优化并适应各种复杂的环境。

4. 自优化能力

相比于传统的制造装备，智能制造装备具有自我优化能力。制造装备在使用过程中不可避免地会存在损耗，传统的机器或系统的性能因此会不断退化，智能制造装备能够依据设备实时的性能，调整本身的运行状态，保证装备系统的正常运行。

5. 容错能力

智能制造装备能够在环境异常或操作错误的情况下正常运行。在允许范围内，智能制造装备能够在一定程度上忽略并修正错误，依据产生的问题进行系统的调整和更新。智能制造装备的容错能力使得制造系统的可靠性得到了提高。

6. 网络集成能力

智能制造装备是智能制造系统的重要组成部分，具备与整个制造系统实现网络集成和网络协同的能力。智能制造系统包括了大量功能各异的子系统，而智能制造装备是智能制造系统信息获取和任务执行的基本载体，它与其他子系统集成为一个整体，实现了整体的智能化。

1.2 典型智能制造装备

智能制造装备目前涉及领域众多，在各个领域中的应用和需求逐渐增多，其重要性也随着制造产业的发展逐渐凸显。现阶段几种典型的智能制造装备主要包括智能机床、智能机器人、增材制造装备、智能成型制造装备、特种智能制造装备等。

1. 智能机床

智能机床是能够自主决策制造过程的机床。智能机床了解整个制造过程，能够监控、诊断和修复在生产过程中出现的各类偏差，为加工生产提供最优化的解决方案。能够计算并预报切削刀具、主轴、轴承和导轨的剩余寿命，提供剩余使用时间和更换时间以及当前状态。

2. 工业机器人

智能机器人能根据环境与任务的变化，实现主动感知、自主规划、自律运动和智能操作，可用于搬运材料、零件、工具的操作机，或是为了执行不同的任务，具有可改变和可编程动作的专门系统，是一个在感知—思维—效应方面全面模拟人的机器系统。与传统的工业机器人相比，具备感知环境的能力、执行某种任务而对环境施加影响的能力和把感知与行动联系起来的能力。

3. 增材制造装备

增材制造不采用一般意义上的模具或刀具加工零件，而是采用分层叠加法，即用 CAD 造型生成 STL 文件，通过分层切片等步骤进行分层处理，借助计算机控制的成型机，将一层一层的材料堆积成实体原型。不同于传统制造将多余的材

料去除掉，增材制造技术可以精确地控制物料成型，提高材料利用率，能够生产传统工艺无法加工的复杂零件。

4. 智能成型制造装备

智能成型制造装备是在铸造、焊接、塑形成型、增材制造等成型加工装备上，应用人工智能技术、数值模拟技术和信息处理技术，以一体化设计与智能化过程控制方法，取代传统材料制备与加工过程中的“试错法”设计与工艺控制方法，以实现材料组织性能的精确设计与制备加工过程的精确控制，获得最佳的材料组织性能与成型加工质量。

5. 特种智能制造装备

特种智能制造装备是基于科学发现的新原理、新方法和专门的工艺知识，为适应超常加工尺度、精度、性能、环境等特殊条件而产生的装备，常使用于超精密加工、难加工材料加工、巨型零件加工、多工序复合加工、高能束加工、化学抛光加工等特殊加工工业。

1.3 产业发展的重要性

1. 智能制造装备是衡量国家工业化水平的重要标志

装备制造业是支撑国民经济发展和国防建设的基础性产业，是各行业产业升级、技术进步的根本保障，集中体现了国家的综合实力和技术水平。智能制造装备作为高端装备制造业的重点发展方向，其产业水平已经成为当今衡量一个国家工业化水平的重要标志。智能制造装备不仅仅是海洋工程、轨道交通工程、卫星、航空航天等高端装备的基础，也是培育和发展十大战略性新兴产业发展水平的装备支撑。发展智能制造装备产业对于带动产业结构优化升级，提升生产效率、技术水平和产品质量，降低能源资源消耗，实现制造过程的自动化、智能化、精密化、绿色化发展具有重要意义。

2. 智能制造技术是制造技术发展的必然趋势

智能制造技术是技术创新累积到一定程度的必然结果，智能化、绿色化的制造方式已经成为制造业发展的必然趋势。工业发达国家始终致力于以技术创新引领产业升级，智能制造装备的产业发展已成为世界各国竞争的焦点。

自美国提出智能制造（IM）的概念后，众多国家相继提出相应的发展计划和战略目标，关注和重视当前智能制造技术的发展与运用。如：美国的“先进制

造技术发展战略”（Advanced Manufacturing Technology，1991 年）、“先进制造技术计划”（Advanced Manufacturing Technology Program，1993 年）、“敏捷制造使能技术战略发展计划”（Technologies Enabling Agile Manufacturing Strategic plan，1995 年）、“智能加工平台模拟计划”（Smart machining platform imitative，2005 年）、“先进制造业伙伴计划”（Advanced Manufacturing Partnership，2011 年）、“先进制造业国家战略计划”（A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing，2012 年）；英国的“英国工业 2050 战略”（The future of manufacturing：a new era of opportunity and challenge for the UK，2013 年）；德国的“工业 4.0”（Industry4.0，2013 年）；欧洲的“欧洲 2020 战略”（Europe 2020，2010 年）计划；日本的“智能制造系统（IMS）国际合作计划”（1990 年）等。这些计划的公布与实施，形成了国家层面上具有高度共识的发展蓝图，其根本出发点是为了在全球制造业新格局中获得更大的竞争优势。

我国于 20 世纪 80 年代末将“智能模拟”列入国家科技发展规划的主要课题，自 1993 年起，国家自然科学基金委员会每年资助智能制造相关研究项目，“九五”计划中将“先进制造技术”（包括 IMT 和 IMS）作为重点发展领域之一。在《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》（2010 年 10 月）、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》（2011 年 3 月）以及《中国制造 2025》（2015 年 5 月）等国家规划和指导战略内，均明确指出智能制造是高端装备制造业的重点方向之一，关系到国家的经济发展潜力和未来发展空间。

3. 智能制造装备是社会生产力发展的内在需求

当今企业处于一个瞬息多变的市场环境中，市场的需求和国际化的竞争环境对制造产业提出了更高的要求，社会需求的转变也使得产品的生产模式从大批量、规模化的生产模式转向小批量、定制化单件产品的生产模式。企业必须从产品的时间、质量、成本、服务和环保等方面考虑，来提高自身的竞争力，以快速响应市场频繁的变化，因此要求企业的制造装备应表现出更高的灵活性和智能性。

过去人们对制造技术的注意力主要偏重于制造过程的自动化，自动化程度的提高极大地解放了生产过程中的体力劳动，但脑力劳动的自动化程度（即决策自动化程度）却难以满足生产要求。制造过程中各种问题的最终决策或解决，在很大程度上依然依赖于决策者的智慧，随着市场竞争的加剧和信息量的增加，这种

依赖程度将越来越大，进行决策的难度也越来越高。另一方面，专业人才的匮乏导致部分技术人员对出现的问题很难进行准确的决策。因此未来的制造系统需要具有智能加工信息的能力，通过智能制造系统和智能制造装备，减少制造过程对人类智慧的依赖，解决人才供应的矛盾。

第 2 章　我国智能制造装备产业发展分析

2.1　产业发展概况

制造业是国家创新能力的重要战场，是支撑国家经济和社会发展的重要基础产业。我国制造业经过十几年的发展，总体规模和水平得到了大幅提升，综合实力不断增强。在技术创新方面，我国制造产业历经了模仿创新、集成创新、引进消化吸收再创新等多个阶段，总体的创新能力得到了明显增强，正在由跟随式创新向引领式创新转型，为进一步提升我国创新能力，政府及相关部门不断加大对科技创新的支持力度。截至 2014 年，我国全社会科研经费投入达 13 312 亿元，占 GDP 比重的 2.09%，是 2008 年科研经费投入总额 4 616 亿元的 2.88 倍，经费投入总额位居世界第三，投入强度在新兴发展国家中居于领先地位。在制造产业方面，随着以信息技术为代表的高新技术的发展和应用，制造业不断引入新的技术，逐渐呈现向高端制造发展的特点，也促进了为高端制造提供装备支撑的智能制造装备产业的快速发展。

依托国家重大科技专项和国家重点工程专项的实施，我国制造业装备的智能化水平不断提升，以智能测控装置、高档数控机床与基础制造装备、自动化成套生产线为代表的智能制造关键技术与装备产业发展迅速，一批国家急需、长期依赖进口、受制于国外的智能制造装备实现突破。如精密、高速加工中心；重型数控镗铣床；总线、高速高精运动控制；插补、多轴联动等关键技术。一大批重点高校、机床集团公司和用户单位在国家相关科技项目的支持下联合攻关，在智能制造关键技术与装备领域取得重要突破。华中科技大学突破国外技术封锁，自主研发了用于加工航空发动机压气机盘的智能双面车床，其主要技术指标达到或超过国外同类产品。武汉重型机床集团公司和华中科技大学联合研制了七轴五联动车铣复合机床，打破国外技术垄断。华中科技大学联合华工激光工程有限责任公司、神龙汽车有限公司、湖北中航精机科技有限公司、凌云工业股份有限公司等

多家企业，潜心技术攻关和市场耕耘，研发了汽车车身激光焊接、不等厚板拼焊、激光非穿透紧密切割等一系列生产线，突破国外公司的技术垄断，在汽车制造激光加工高端装备生产中实现了国产自主化。由沈阳机床（集团）有限责任公司、天津大学、成都飞机工业（集团）有限责任公司承担，国产首台用于复杂钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心研制成功，其中，“S”试件切削工艺技术研究获重大突破。由齐重数控装备股份有限公司承担，我国自主知识产权的、全功能、高精度数控重型曲轴铣车复合加工机床研制成功，一次装卡即可完成大型船用低速柴油机组合曲轴的主轴颈、法兰和曲拐颈的半精加工和精加工。由齐齐哈尔二机床（集团）有限责任公司、南京航空航天大学、清华大学、航天材料及工艺研究所联合研制的大型复合材料构件铺带机，主要适用于大型筒形复合材料构件的成形，能够突破手工成形、效率和质量保障难度大的瓶颈，实现筒形复合材料构件自动化高速成形，批量化生产。由中国第一重型机械集团公司牵头承担的“大型高质量铸件的材料冶炼与成形控制技术”课题，主要围绕能源、冶金、数控机床等重大装备大型铸件和大型特大型钢锭的生产工艺，研究大型铸件的成形控制、材料冶炼、成分优化技术和用于大型锻件的钢锭冶炼等技术。大型关键件模锻工艺技术课题重点围绕大型航空模锻件热模锻近净成形技术，结合正在建设的 800MN 大型模锻压机，开发出航空复杂精密锻件的近净成形新技术，解决了大型模锻工艺基础共性技术和关键技术问题。截至 2012 年，我国智能制造装备产业主营业务收入约 11 052.9 亿元，产业产值约为 5 100 亿元，已提前完成《“十二五”智能制造装备产业发展规划》中所要求的“到 2015 年我国智能制造装备产业销售收入预计将超过 1 万亿元，年均增长率超过 25%，工业增加值率达到 35%”的目标。

我国智能制造装备产业已形成了一批具有国际竞争力的龙头企业。如在机床工业领域的沈阳机床、大连机床两大集团，其年销售收入均超过百亿元，位居世界机床产业前 10 强。在智能控制系统领域的上海新华控制技术集团、浙大中控、北京和利时和山东鲁能控制等，均是具有自主知识产权的 DCS 生产厂商。在仪器仪表领域：重庆川仪、京仪集团、天瑞仪器、聚光科技、威尔泰等龙头企业具有很高的影响力。在工业机器人领域：新松机器人、哈尔滨博实自动化设备、海尔哈工大机器人、安川首钢机器人、上海 ABB 工程、上海发那科机器人、库卡机器人（上海）等在机器人产业舞台占有重要位置。在工程机械领域：三一重工、中联重科、徐工集团、柳工集团、中国龙工等 10 家企业位居全球工程机械

前 50 强排名榜单，此外，还有瓦轴集团、沈鼓集团等一批各具特色的智能制造装备企业。

目前，我国智能制造装备产业虽然已经具备一定的规模和影响力，但是从质量与产业化水平来看，中国智能制造还处于初级发展阶段。相比在 20 世纪 70 年代制造技术已经成熟的发达国家，中国在智能制造的关键技术和基础工艺方面还有待提升，智能制造装备产业能力、应用范围、服务质量等与发达国家相比，仍存在较大差距。比如在关键零部件、智能仪表和控制系统等基础零部件上，研发能力及配套能力薄弱，很大程度上仍然依赖于国外进口；没有形成完整的自主知识产权技术体系，多数出口产品是贴牌生产，拥有自主品牌的不足 20%；80% 的集成电路芯片制造装备、40% 的大型石化装备、70% 的汽车制造关键设备及先进集约化农业装备仍依靠进口。德勤与中国机械工业联合会 2013 年调研 200 家制造企业所发布的首份中国智造现状及前景报告显示，我国企业的智能化水平参差不齐，仅有 10% 左右的大企业智能制造水平较高，尚有 90% 的企业智能化程度未成熟；仅 16% 的企业进入智能制造应用阶段，大部分仍处于研发阶段；从智能制造的经济效益来看，52% 的企业智能制造收入贡献率低于 10%，60% 的企业智能制造利润贡献低于 10%，而智能化升级成本过高是导致 90% 的中小企业智能制造实现程度较低的根本原因，其中缺乏融资渠道影响最大。德勤的调研显示，年收入小于 5 亿元的企业中，50% 的企业在智能化升级过程中采用自有资金，25% 为政府补贴，银行贷款和资本市场融资各占 11%。而企业收入规模大于 50 亿元的企业，其智能化升级资金来源中自有资金占 67%，银行贷款占比 25%。整体而言，中小微型企业的银行贷款比例低于大中型企业，占企业数量绝大多数的中小企业只能依靠自有资金进行智能化改造。

另一方面，智能制造水平较低也意味着迫切需要夯实基础，加快推动智能制造创新发展。据国家发改委宏观研究院报道，全国已有多个地方相继出台相关的政策和产业规划、申报智能制造试点示范和专项项目，包括北京、上海、广东、浙江、江苏、湖北、天津、安徽、山东、河南、四川、黑龙江等省市。此外，机械科学研究总院联合航天科技、中科院沈阳自动化研究所等国内知名产学研单位共计 23 家机构联合发起成立“中国智能制造产业技术创新战略联盟”。在 2015 年 5 月 19 日印发的《中国制造 2025》中也将智能制造纳入了五大重点工程，首批 30 家企业为示范试点。

2.2 产业发展规模与成就

2.2.1 “十一五”期间装备制造业的成就

在国家“十一五”重大攻关项目和国家科技重大专项的支持下，我国智能制造装备产业取得较快的发展，关键技术和零部件自主化程度和产品质量稳步提升。大型露天矿山及大型施工机械基本实现自主化；百万千瓦超超临界火电机组的锅炉、汽轮机和发电机设计制造技术，自主化率达到了85%以上；大功率拖拉机和一批农机具已结束了依赖进口的历史。高效清洁发电设备的技术水平和产品产量已经进入世界前列，基本满足了国内发电设备的需求。特高压交流输变电设备和特高压直流输电成套设备综合自主化率分别达到90%以上和60%以上。具体产业发展情况如下：

1. 一批具有自主知识产权的重大智能制造装备实现突破

在“十一五”期间，我国在航空航天、船舶、汽车、石化、冶金、轻工、纺织、发电设备制造等领域开发了一批具有智能功能的制造装备，显著提升了制造过程的自动化、智能化水平。我国已完成了点焊和弧焊机器人的小批试制和示范应用，并在汽车零部件和汽车整车生产企业进行了焊接机器人工作站的集成和示范应用，但在大型焊接机器人生产线，尤其在激光焊接机器人生产线的集成上仍存在缺陷。复合材料预浸料制备工艺不断成熟，配套设备已基本实现国产化。在复合材料铺带工艺方面已取得技术突破，与国外联合研制出了第一台适合工程化应用的复合材料自动铺带机。大型复合材料超声波C扫描设备已研制成功，整体性能指标基本满足工程化应用需求。自动化仓储与分拣系统的产品初步系列化，但可靠性相较于国外产品仍存在一定差距。自主研发的物料完全循环多晶硅还原工艺已获得专利。多晶硅制备装备中的精馏装置、电解装置、废料回收装置已完成试制，配套专用控制软件和测量设备符合生产要求，多晶硅成品纯度达到99.999 5%。数控硅片多线切割机的研制已取得重大突破，一次可切割400片300mm硅片。

2. 智能测控技术与装置取得重要进展

通过“十一五”期间的努力，我国基本实现了仪器仪表从模拟技术向数字技术的转换，智能化、网络化程度不断提高，整体水平逐渐向高端化发展。自主开发了分散型控制系统、测量精度为0.075%的高精度压力/差压变送器、油井多

相流检测技术、原子荧光光谱仪等，基本性能和重要指标已接近或达到国际先进水平；自主研发了国产 DCS 系统，并先后在 1 000 兆瓦级超超临界火电机组、1 000兆瓦级核电机组、800 万 t 以上炼油装置、500 万 t/a 炼油装置、20 000m^3/h 空分装置、265m^2 烧结装置、轨道交通控制等重大工程项目中获得推广和示范应用。

3. 已具备智能制造装备发展基础

通过国家相关科技计划和科技重大专项的支持，我国智能制造装备的发展深度和广度日益提升，在高档数控机床与基础制造装备、流程工业和发电设备所用自动化控制系统、工业机器人等领域形成了较好的基础，一批从事智能制造系统和装备研究的人才队伍逐步壮大。在装备制造业相关领域建成了一批国家工程（技术）研究中心、国家重点实验室、国家认定的企业技术中心，为智能制造装备的研发和产业化提供坚实的基础条件。以新型传感器、智能控制系统、工业机器人、自动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成，部分智能制造装备行业迅速增长，机床行业年增长率为 33.61%，仪器仪表行业为 22.9%。2010 年工业自动化控制系统和仪器仪表、数控机床、工业机器人及其系统等部分智能制造装备产业领域销售收入超过 3 000 亿元。

2.2.2 “十二五”期间装备制造业的成就

经过“十一五”阶段装备制造业的发展，我国基本上具备了发展智能制造的基础与条件，对高水平智能制造装备的需求也更为迫切。随着“十二五”规划的实施，装备制造业向高端化发展。在智能制造方面，我国取得了一大批相关的基础研究成果，掌握了长期制约我国产业发展的部分智能制造技术，如机器人技术、感知技术、复杂制造系统技术、智能信息处理技术等；以新型传感器、智能控制系统、数控机床、工业机器人、自动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成；规模以上工业企业在研发设计方面应用数字化工具普及率已经达到 54%，生产线上数控装备比重已经达到 30%。具体的产业发展情况如下：

1. 智能制造装备产业规模提前完成规划目标，产业空间布局不断优化

2012 年，我国智能制造装备产业主营业务收入约 11 052.9 亿元，年均增长率为 30.6%。其中，核心智能测控装置与部件主营业务收入约 2 871.8 亿元，年均增长率为 24.3%；重大智能制造成套装备主营业务收入约 5 296.9 亿元，年均增长率为 25.8%；示范应用领域主营业务收入约 2 884.2 亿元，年均增长率为

48.5%。我国智能制造装备产业已提前完成“至2015年，产业销售收入超过10 000亿元”的《智能制造装备产业“十二五”发展规划》目标。

目前，我国智能制造装备产业虽尚未形成明显的产业集聚区，但集聚特征已基本呈现，初步形成以环渤海、长三角地区为核心，东北和珠三角为两翼，以四川和陕西为代表的西部地区为支撑，中部地区快速发展的产业空间格局。以数控机床为核心的智能制造装备产业的生产和研发企业主要集聚在环渤海地区、长三角地区及西北地区，其中以辽宁、山东、北京、上海、江苏、浙江和山西等地区最为集中，拥有沈阳机床厂、大连机床厂、上海电气机床厂等行业领军企业；工业机器人的产业集群主要位于沈阳、哈尔滨、北京、上海、广州、江苏；关键基础零部件及通用部件、智能专用装备产业在河南、湖北、广州等地也呈现较快的发展态势，其中以洛阳、襄樊、深圳最为突出，华中数控、广州数控现已得到广泛的应用。各省市和地方依据自身在科技、资本等生产要素市场、产业配套能力和政策支撑等方面的基础条件，通过强化区域优势产业和培育特色鲜明企业的方式，已培育了一批批具有国际竞争力的智能制造装备产业集群。国家积极推进企业兼并重组，智能制造装备产业已拥有一批具有专业化、社会化配套能力和国际竞争力的龙头企业。

2. 重大智能制造成套装备与关键智能测控部件取得标志性成果

目前，我国关键智能测控部件在传感器、仪器仪表、自动控制系统、工业机器人等方面取得突破性进展，部分核心智能测控部件已进入产业化阶段，在包装和食品机械、工程机械、农用机械、环保机械等领域实现了推广和运用。在石油石化、机械加工、食品制造、纺织机械等领域的重大智能制造成套设备取得标志性成果。如在石油石化智能成套设备领域，国产全自动油田固井车研制成功，国内首套井下煤炭综采成套装备智能系统开始应用，国内首套褐煤提水装置试验成功，国内首套1万t/a烷基化废酸再生装置实现高水平中间交接、自主研发的“千万吨级炼油加氢装置循环氢压缩机高压干气密封及其控制系统”和“大型煤化工煤制丙烯装置丙烯制冷压缩机大轴径干气密封”两项科技成果问世。在智能化食品制造生产线领域，乳品无菌化数字示范车间年产无菌包装乳品9 000万瓶，减少乳品加工环节的原料及成品损耗约15%，节省加工过程中的能源消耗约20%，降低消毒液用量约70%。无菌化饮料吹灌旋数字化车间可为客户产品质量提升约10%，生产效率提高约15%，降低能源消耗约20%，降低人工约20%，降低设备成本、占地成本约20%。在智能化纺织成套装备领域，我国开发

出现场“无人化”操作的染色工艺、智能染色系统、筒子纱微波烘干机、元明粉自动称量系统、装卸纱机器人、自动物流系统、中央控制软件系统等，研制出新产品三类 18 种 84 台/套。另外，由安徽巨一自动化装备有限公司和安徽江淮汽车股份有限公司合作研制的年产 24 万辆乘用车机器人焊接自动化生产线投入试运行；首套具有自主知识产权的城市轨道交通大型综合智能测控系统成功投入运行；湖北力帝机床股份有限公司与山东玉玺炉料有限公司联合开发的国内首台（套）大型废金属智能化破碎分选生产线开始应用等。经过多个专项的实施，我国制造业得到飞速发展，取得了一大批相关的基础研究成果和长期制约我国产业发展的先进制造技术，攻克了一批长期严重依赖并影响我国产业安全的核心高端装备。

3. 智能制造装备产业创新体系初步建立，产品研发比重增高

近年来，智能制造装备产业重点领域已初步建立了产学研用相结合的产业创新体系。电工电器、液压气动密封件、工程机械和重型机械等重点领域已建立六个公共服务平台，3D 打印、高端数控机床和机器人等领域的智能制造装备产业研发公共服务平台也将于 2016 年 10 月底前于重庆永川建成投运，未来将提供技术实验、产品性能检测、评级评价等公共服务，为产品中试阶段提供必需的验证手段。同时，江苏、湖北、上海、广东、洛阳等一些省市相继成立工业机器人产业技术创新联盟。2013 年 4 月，由中国机械工业联合会牵头的“中国机器人产业联盟”成立，拟在提供全国性的产学研用行业协同工作平台，加速机器人技术与产品在各行业中的普及应用。另外，骨干企业的研发经费逐年提升，重点企业研发经费占销售收入的比重已超过 5%。如，湖北力帝机床、中国重型机械研究院、深圳精密达、上海派芬自动控制技术和深圳正弦电气的研发经费占销售收入比重均达 8% 以上。北人集团、上海电气、辽宁大族冠华、杭州科雷机电、湖北力帝机床、西安西电电力等企业新产品产值率达 80% 以上。

4. 智能专项的引导性作用初显，试点示范专项取得积极响应

自“十二五”规划实施以来，国家工信部等相关部门连续多年组织实施了“智能制造装备发展专项”达百余项，2015 年有 94 个项目列入专项范围，申报单位包含了十几家上市公司。通过多年智能制造装备发展专项的实施，我国制造业得到飞速发展，取得了一大批相关的基础研究成果和长期制约我国产业发展的先进制造技术，建设了一批国家重点实验室、国家工程技术研究中心、国家级企业技术中心等研发基地，培养了一大批长期从事相关技术研究开发工作的高技术

人才，为智能制造装备产业的发展提供了有力的保障。智能专项的实施加强了装备的应用与工艺流程需求间的契合度，发挥了财政资金在推进智能制造装备研发和推广中的引导作用，带动了一批装备制造企业的升级和改造，促进了装备制造业在工艺流程、物流流程、信息化流程的深度融合。同时，智能制造装备发展专项的实施除对装备制造业具有极大的指导和带动作用外，对消费品工业、原材料工业和采掘业等相关领域也起到了较强的引导和辐射作用。

2.3 产业发展政策

2.3.1 智能制造“十二五”规划

“十二五”期间，智能制造装备将面向国民经济重点产业的转型升级和战略性新兴产业培育发展的需求，以实现制造过程智能化为目标，以突破九大关键智能基础共性技术为支撑，以推进八项智能测控装置与部件的研发和产业化为核心，以提升八类重大智能制造装备集成创新能力为重点，促进在国民经济六大重点领域的示范应用推广。经过 5 ~ 10 年的努力，形成完整的智能制造装备产业体系，总体技术水平迈入国际先进行列，部分产品取得原始创新突破，基本满足国民经济重点领域和国防建设的需求。具体包括：

1. 九大关键智能基础共性技术

（1）新型传感技术——高传感灵敏度、精度、可靠性和环境适应性的传感技术，采用新原理、新材料、新工艺的传感技术（如量子测量、纳米聚合物传感、光纤传感等），微弱传感信号提取与处理技术。

（2）模块化、嵌入式控制系统设计技术——不同结构的模块化硬件设计技术，微内核操作系统和开放式系统软件技术、组态语言和人机界面技术，以及实现统一数据格式、统一编程环境的工程软件平台技术。

（3）先进控制与优化技术——工业过程多层次性能评估技术、基于海量数据的建模技术、大规模高性能多目标优化技术，大型复杂装备系统仿真技术，高阶导数连续运动规划、电子传动等精密运动控制技术。

（4）系统协同技术——大型制造工程项目复杂自动化系统整体方案设计技术以及安装调试技术，统一操作界面和工程工具的设计技术，统一事件序列和报警处理技术，一体化资产管理技术。

（5）故障诊断与健康维护技术——在线或远程状态监测与故障诊断、自愈合调控与损伤智能识别以及健康维护技术，重大装备的寿命测试和剩余寿命预测

技术，可靠性与寿命评估技术。

（6）高可靠实时通信网络技术——嵌入式互联网技术，高可靠无线通信网络构建技术，工业通信网络信息安全技术和异构通信网络间信息无缝交换技术。

（7）功能安全技术——智能装备硬件、软件的功能安全分析、设计、验证技术及方法，建立功能安全验证的测试平台，研究自动化控制系统整体功能安全评估技术。

（8）特种工艺与精密制造技术——多维精密加工工艺，精密成型工艺，焊接、粘接、烧结等特殊连接工艺，微机电系统（MEMS）技术，精确可控热处理技术，精密锻造技术等。

（9）识别技术——低成本、低功耗射频识别（RFID）芯片设计制造技术，超高频和微波天线设计技术，低温热压封装技术，超高频 RFID 核心模块设计制造技术，基于深度三位图像识别技术，物体缺陷识别技术。

2. 八项核心智能测控装置与部件

（1）新型传感器及其系统——新原理、新效应传感器，新材料传感器，微型化、智能化、低功耗传感器，集成化传感器（如单传感器阵列集成和多传感器集成）和无线传感器网络。

（2）智能控制系统——现场总线分散型控制系统（FCS）、大规模联合网络控制系统、高端可编程控制系统（PLC）、面向装备的嵌入式控制系统、功能安全监控系统。

（3）智能仪表——智能化温度、压力、流量、物位、热量、工业在线分析仪表、智能变频电动执行机构、智能阀门定位器和高可靠执行器。

（4）精密仪器——在线质谱/激光气体/紫外光谱/紫外荧光/近红外光谱分析系统、板材加工智能板形仪、高速自动化超声无损探伤检测仪、特种环境下蠕变疲劳性能检测设备等产品。

（5）工业机器人与专用机器人——焊接、涂装、搬运、装配等工业机器人及安防、危险作业、救援等专用机器人。

（6）精密传动装置——高速精密重载轴承，高速精密齿轮传动装置，高速精密链传动装置，高精度高可靠性制动装置，谐波减速器，大型电液动力换挡变速器，高速、高刚度、大功率电主轴，直线电机、丝杠、导轨。

（7）伺服控制机构——高性能变频调速装置、数位伺服控制系统、网络分布式伺服系统等产品，提升重点领域电气传动和执行的自动化水平，提高运行稳

定性。

（8）液气密元件及系统——高压大流量液压元件和液压系统、高转速大功率液力偶合器调速装置、智能润滑系统、智能化阀岛、智能定位气动执行系统、高性能密封装置。

3. 八类重大智能制造成套装备

（1）石油石化智能成套设备——集成开发具有在线检测、优化控制、功能安全等功能的百万吨级大型乙烯和千万吨级大型炼油装置、多联产煤化工装备、合成橡胶及塑料生产装置。

（2）冶金智能成套设备——集成开发具有特种参数在线检测、自适应控制、高精度运动控制等功能的金属冶炼、短流程连铸连轧、精整等成套装备。

（3）智能化成形和加工成套设备——集成开发基于机器人的自动化成形、加工、装配生产线及具有加工工艺参数自动检测、控制、优化功能的大型复合材料构件成形加工生产线。

（4）自动化物流成套设备——集成开发基于计算智能与生产物流分层递阶设计，具有网络智能监控、动态优化、高效敏捷的智能制造物流设备。

（5）建材制造成套设备——集成开发具有物料自动配送、设备状态远程跟踪和能耗优化控制功能的水泥成套设备、高端特种玻璃成套设备。

（6）智能化食品制造生产线——集成开发具有在线成分检测、质量溯源、机电光液一体化控制等功能的食品加工成套装备。

（7）智能化纺织成套装备——集成开发具有卷绕张力控制、半制品的单位重量、染化料的浓度、色差等物理、化学参数的检测仪器与控制设备，可实现物料自动配送和过程控制的化纤、纺纱、织造、染整、制成品等加工成套装备。

（8）智能化印刷装备——集成开发具有墨色预置遥控、自动套准、在线检测、闭环自动跟踪调节等功能的数字化高速多色单张和卷筒料平版、凹版、柔版印刷装备、数字喷墨印刷设备、计算机直接制版设备（CTP）及高速多功能智能化印后加工装备。

4. 六大重点应用示范推广领域

（1）电力领域——重点推进在百万千瓦级火电机组中实现燃烧优化、设备预测维护功能，在百万千瓦级核电站实现安全控制和特种测量功能，在重型燃气轮机中实现快速启停和复合控制功能，实现 3MW 以上风电机组的主控功能，变桨控制功能，太阳能热电站实现追日控制功能，在智能电网中实现用电管理、用

户互动、电能质量改进、设备智能维护功能。

（2）节能环保领域——重点推进在固体废弃物智能化分选装备、智能化除尘装备、污水处理装备上推广应用，实现各种再生原料的高效智能化分选、除尘设备和污水处理装备的自动调节与高效、稳定，在地热发电装备中实现地热高效发电建模与控制功能。

（3）农业装备领域——重点推进在大型拖拉机及联合整地、精密播种、精密施肥、精准植保等配套机具成套机组，谷物、棉花、油菜、甘蔗等联合收获机械，水稻高速插秧机等种植机械装备上的应用，实现故障及作业性能的实时诊断、检测和控制，实现作业过程的智能控制和管理。

（4）资源开采领域——重点推进在煤炭综采设备、矿山机械上应用，实现综采工作面设备信息与环境信息的集成监控、安全环境预警、精确人员定位等功能，在天然气长距离集输设备中实现全线数据采集和监控、运行参数优化、管道泄漏检测定位、站场无人操作或无人值守以及中心远程遥控功能，在油田设备中实现井口关键参数检测、数据处理及集中监测功能。

（5）国防军工领域——重点推进专用机器人、精密仪器仪表、新型传感器、智能工控机在航天、航空、舰船、兵器等国防军工领域的应用。

（6）基础设施建设领域——重点推进在挖掘机、盾构机、起重机、装载机、叉车、混凝土机械等施工装备上应用，实现远程定位、监测、诊断、管理等智能功能，在机场和码头建设领域推广应用，实现机场行李和货物的自动装卸、输送、分拣、存取全过程的智能控制和管理，集装箱装卸的无人操作与数字化管理。

2.3.2 中国制造 2025

2015 年 3 月 18 日，作为中国版工业 4.0——“中国制造 2025”的预热，工信部发布了《关于开展 2015 年智能制造试点示范专项行动的通知》以及《2015 年智能制造试点示范专项行动实施方案》，决定自 2015 年起正式启动智能制造试点示范专项，聚焦制造关键环节，在基础条件好、需求迫切的重点地区、行业和企业中，选择试点示范项目。2015 年 5 月 8 日，国务院正式公布《中国制造 2025》，将智能制造作为主攻目标，以“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”为基本方针，坚持“市场主导、政府引导，立足当前、着眼长远，整体推进、重点突破，自主发展、开放合作”的基本原则，推进两化深度融合，提升我国制造业国际化发展水平。《中国制造 2025》通过“三步走”实现

制造强国的战略目标，第一步，到 2025 年迈入制造强国行列；第二步，到 2035 年我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平；第三步，到新中国成立一百年时，我制造业大国地位更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列。《中国制造 2025》将通过制造业创新中心建设、智能制造、工业强基、绿色发展、高端装备创新五大工程来落实，同时建立“1 + X”的规划体系，按流程制造、离散制造、智能装备和产品、智能制造新业态新模式、智能化管理、智能服务 6 大领域分类进行试点行动，具体如下：

1. 六类试点示范项目

（1）流程制造——以数字化工厂/智慧工厂为方向的流程制造试点示范项目，要求工厂总体设计、工程设计、工艺流程及布局均已建立了较完善的系统模型，并进行了模拟仿真，设计相关的数据进入企业核心数据库；生产工艺数据自动数采率 90% 以上，工厂自控投用率 90% 以上；实时数据库平台与过程控制、生产管理系统实现互通集成；制造执行系统（MES）与企业资源计划管理系统（ERP）集成等。

（2）离散制造——以数字化车间/智慧工厂为方向的离散制造试点示范项目，要求车间/工厂总体设计、工艺流程及布局均已建立数字化模型，采用三维计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工艺规划（CAPP）、设计和工艺路线仿真、可靠性评价等先进技术，产品信息能够贯穿于设计、制造、质量、物流等环节，实现产品的全生命周期管理（PLM）；建立生产过程数据采集和分析系统、车间级的工业通信网络、车间制造执行系统（MES）、ERP 等。

（3）智能装备和产品——以信息技术深度嵌入为代表的智能装备和产品试点示范项目，要求实现高端芯片、新型传感器、工业控制计算机、智能仪器仪表与控制系统、工业软件、互联网技术、信息安全技术等在装备（产品）中的集成应用等。

（4）智能制造新业态新模式——以个性化定制、网络协同开发、电子商务为代表的智能制造新业态新模式试点示范项目，在个性化定制方向上实现模块化设计方法、个性化定制平台、产品数据库的不断优化，形成完善的基于个性化定制需求的企业设计、生产、供应链管理和服务体系；在协同开发/云制造方向上建立协同开发/云制造平台；在电子商务方向上企业主营业务收入通过电子商务实现的比重不低于 20%，或者行业第三方电子商务平台也是推荐对象。

（5）智能化管理——以物流管理、能源管理智慧化为方向的智能化管理试

点示范项目，或者建立智能化的物流管理体系和畅通的物流信息链，或者是构建智能化的能源管理体系。

（6）智能服务——以在线监测、远程诊断与云服务为代表的智能服务试点示范项目，可通过云平台对装备（产品）运行数据与用户使用习惯数据进行采集和分析，为用户提供在线监测、远程升级、故障预测与诊断、健康状态评价等增值服务，以及运用大数据技术将自动生成的产品运行与应用状态报告推送至用户。

2. 五大智能化针对点

（1）针对生产过程的智能化——以智慧工厂为代表的流程制造、以数字化车间为代表的离散制造的试点示范项目。其中，在流程制造领域，重点推进石化、化工、冶金、建材、纺织、食品等行业，示范推广智慧工厂或数字矿山运用；在离散制造领域，重点推进机械、汽车、航空、船舶、轻工、家用电器及电子信息等行业。

（2）针对产品的智能化——以信息技术深度嵌入为代表的智能装备和产品的试点示范项目。也就是将芯片、传感器、仪表、软件系统等智能化产品嵌入到智能装备中去，使得产品具备动态存储、感知和通信能力，实现产品的可追溯、可识别、可定位。

（3）针对制造业中的新业态新模式予以智能化——以个性化定制、网络协同开发、电子商务为代表的智能制造新业态新模式的试点示范项目。

（4）针对管理的智能化——在物流信息化、能源管理智慧化上推进智能化管理的试点示范项目。

（5）针对服务的智能化——以在线监测、远程诊断、云服务为代表的智能服务的试点示范项目。工信部电子信息司副司长安筱鹏认为：服务的智能化，既体现为企业如何高效、准确、及时挖掘客户的潜在需求并实时响应，也体现为产品交付后对产品实现线上线下（O2O）服务，实现产品的全生命周期管理。两股力量在服务的智能化方面相向而行，一股力量是传统的制造企业不断拓展服务业务，一股力量是互联网企业从消费互联网进入到产业互联网。

3. 十大重点领域

（1）新一代信息技术产业——集成电路及专用装备、信息通信设备、操作系统及工业软件。

（2）高档数控机床和机器人——高档数控机床、增材制造、工业机器人、

特种机器人、服务机器人、主要功能部件及关键应用软件。

（3）航空航天装备——新一代运载火箭、重型运载器、新型卫星、空间信息互联网系统。

（4）海洋工程装备及高技术船舶——深海探测、资源开发利用、海上作业保障装备及其关键系统和专用设备、深海空间站、大型浮式结构物、豪华邮轮、液化天然气船。

（5）先进轨道交通装备——新一代绿色智能、高速重载轨道交通装备系统。

（6）节能与新能源汽车——电动汽车、燃料电池汽车、动力电池、驱动电机、高效内燃机、先进变速器、轻量化材料、智能控制。

（7）电力装备——大型高效超净排放煤电机组、超大容量水电机组、核电机组、重型燃气轮机、新能源和可再生能源装备、先进储能装置、智能电网用输变电及用户端设备、大功率电力电子器件、高温超导材料等关键元器件。

（8）农机装备——粮食和战略性经济作物生产过程使用的先进农机装备、大型拖拉机及其复式作业机具、大型高效联合收割机。

（9）新材料——特种金属功能材料、高性能结构材料、功能性高分子材料、特种无机非金属材料、先进复合材料、颠覆性新材料、新材料制备关键技术和装备（熔炼、凝固成型、气相沉积、型材加工、高效合成等）。

（10）生物医药及高性能医疗器械——新机制和新靶点化学药、抗体药物、抗体偶联药物、全新结构蛋白及多肽药物、新型疫苗、临床优势突出的创新中药及个性化治疗药物；医疗影像设备、医用机器人、可穿戴、远程诊疗等移动医疗产品、生物 3D 打印、诱导多能干细胞技术。

2.4 产业发展过程中存在的主要问题

1. 高端装备对外依存度高

作为制造业大国，我国装备制造业还难以满足制造业发展的需求。我国装备制造业现处于产业链的中低端，并且主要集中在产业链的制造环节，前端研发设计与后端的销售服务环节都受制于人，自主创新能力薄弱、关键技术自给率低，尤其在高性能传感器、精密测量装置、智能控制系统、智能化嵌入式软件等方面对外依赖度高，重大技术装备所使用的仪器仪表被国外垄断，对外依存度达到 40%，其中高端产品对外依存度高达 70%。机器人和高端自动控制系统、高档数控机床、高档数控系统超过 90% 的市场份额均被国外产品占领。我国高端装备

对进口的过度依赖，必然使所生产的产品缺乏核心竞争力。

2. 关键支撑技术及核心基础零部件主要依赖进口

智能制造装备或实现制造过程智能化的整机和成套设备配套的关键零部件、元器件（包括软件和硬件）主要依赖于进口，核心制造技术主要通过国外引进，尚未完全掌握吸收，如高性能液压件与气动元件、高速精密轴承、特种执行机构、新型传感器等感知和在线分析技术、典型控制系统与工业网络技术、大功率变频技术、精密加工机床的设计制造基础技术（设计过程智能化技术）、大型石化装备设计技术等。

3. “工业化与信息化”融合程度低

智能制造技术是信息技术、自动化技术与先进制造技术的深度融合。工业软件作为智能制造装备的核心要素，是工业化和信息化融合的切入点和“粘合剂”。目前我国工业软件产业的整体发展水平落后于主要发达国家，市场规模为723 亿元，仅占全球市场规模的 1%，在中低端市场的占有率较高，低端 CAD 软件以及企业生产过程管理软件普及程度高，应用于复杂产品及系统设计管理等高端软件缺失。高端软件发展滞后，几乎所有重点工业行业使用的高端软件都要依赖进口，专业工具软件方面发展更是举步维艰。其中，信息技术、制造工艺技术与相关软件产品技术融合程度低是工业软件发展缓慢的重要制约因素。自动化技术已经在国内大多数企业的生产制造过程得到普及，但应用于提高产品质量、实现节能减排、提高劳动生产率的智能化、网络化技术缺乏。

4. 创新能力不足

控制系统、系统软件等关键技术环节创新能力薄弱，行业整体技术水平与世界先进水平相比仍有较大的差距。我国智能制造技术的关键核心技术主要来源于技术追踪和技术引进，自主研发能力相对不足，缺乏原始创新，自主品牌缺乏。引进技术的技术消化吸收力度不够，技术体系不够完整，未真正实现消化吸收再创造。虽然我国正加大科研经费的投入，但相比工业发达国家 20% 的科研经费投入量，仍然有较大的差距，在仪器仪表行业科研经费投入占销售收入的比重仅为 2. 5%，国内仪器仪表行业创新人才队伍占从业人员的比重仅有 5%。

5. 产业基础薄弱

智能制造的快速发展需要有坚实的基础制造基础，我国制造业发展整体还处于机械自动化向数字自动化过渡阶段，发展智能制造的数字化基础较为薄弱。如

果以德国工业 4.0 作为参照系，工业 1.0 到 4.0 的主要特征分别是机械化、电气化、自动化和智能化，比较一致的看法是我国总体上还处于 2.0 时代，部分企业在向 3.0 时代迈进。中国制造企业是在 2.0、3.0、4.0 同步并行展开，需要分清哪些需要工业 2.0 补课、哪些需要工业 3.0 普及、哪些需要工业 4.0 示范，我国在践行“中国制造 2025”的道路上任重而道远。

2.5 推动产业发展的关键措施

1. 政策扶持高档数控机床国产化

“高档数控机床与基础制造装备重大专项”是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》确定的十六个国家科技重大专项之一。在 2008 年 12 月 24 日的国务院常务会议上审议并通过高档数控机床与基础制造装备科技重大专项实施方案。目标规划到 2020 年，我国将形成高档数控机床与基础制造装备主要产品的自主开发能力，总体技术水平进入国际先进行列，部分产品国际领先；建立起完整的功能部件研发和配套能力；形成以企业为主体、产学研相结合的技术创新体系；培养和建立一支高素质的研究开发队伍；航空航天、船舶、汽车、发电设备制造所需要的高档数控机床与基础制造装备 80% 左右立足国内。2009 年 5 月《装备制造业调整和振兴规划》出台以来，国家对装备制造业尤其是高端智能装备制造业研发和生产的政策支持力度不断加大。2010 年 10 月，国务院发布《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，明确提出加大培育高端装备制造产业等七大战略性新兴产业，并要求强化基础配套能力，积极发展以数字化、柔性化及系统集成为核心的智能制造装备，将智能装备制造列为高端装备制造产业的重点方向。2011 年 3 月，中国机械工业联合会对外发布《“十二五”机械工业发展总体规划》，提出“十二五”期间机械工业将主攻五个重点领域，实施五大发展战略。其中，高端智能装备和新兴产业装备被列为五大重点领域前两位，高端战略和创新驱动战略被列为五大发展战略前两位。2011 年 4 月，工信部对外公布《“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项 2012 年度课题申报指南》。与前两年重大专项相比，首次将高档数控系统作为独立项目，同时将功能部件和数字化工具系统、关键部件的研发位置提前。高档数控机床、数控系统和功能部件核心技术成为两年财政支持的主要方向。2012 年 5 月，工信部颁布的《高端装备制造业“十二五”发展规划》实施，高端智能装备迎来了良好的发展机遇。同年，工信部相继制定了《智能制造装备产业“十二五”发展

路线图》《“数控一代”装备创新工程行动计划》，大力支持智能制造装备产业的培育和发展，加快制造业转型升级。2012 年 7 月，国务院正式出台《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》，将高端装备制造业作为重点发展之一，促进制造业实现智能化、自动化、绿色化发展。2013 年，多部门联合发布了《加快推进传感器及智能化仪器仪表产业发展行动计划》《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》等政策，对智能制造产业重点领域的发展进行了战略层面的规划指导。2014 年，发改委等部门联合颁布了《关于组织实施 2014 年智能制造装备发展专项的通知》，通过专项的实施，推动提升生产过程的智能化水平，降低生产成本和资源消耗，促进制造业向数字化、网络化、智能化升级转型。2015 年 3 月 18 日，工信部发布了《关于开展 2015 年智能制造试点示范专项行动的通知》以及《2015 年智能制造试点示范专项行动实施方案》。2015 年 5 月，国务院公布《中国制造 2025》，将智能制造作为主攻目标，推进两化深度融合，提升我国制造业国际化发展水平。

2. 实施智能制造装备及基础件财税支持政策

财税政策是国家调节经济最重要，也是最有效的政策工具。发挥财税政策的引导激励作用，促进战略性智能制造装备产业发展，是世界各国的普遍做法也是发达国家的成功经验。我国培育战略性智能制造装备产业，更离不开财税政策的支持。我国十分重视战略性智能制造装备制造产业的发展，出台一系列支持智能制造装备技术的财税政策，建立健全财税政策支持体系，对于我国智能制造装备产业的发展、战略性新兴产业的孕育发挥了积极的作用。

编制智能制造装备制造业重点技术与产品目录，加快实施重大创新工程，大力支持智能制造装备及其关键零部件、配套系统的研发和产业化。鼓励开展引进消化吸收再创新，对研制生产国家鼓励发展的高端重大技术装备，落实有关关键零部件、原材料进口税收优惠政策。积极研究完善针对智能制造装备制造业公共服务体系和重大创新工程的相关进口税收政策。

出台鼓励使用国产首台（套）装备的认定标准和政府采购制度。国产重大首台（套）智能制造装备产品经试用成功并经验收通过后，可列入《政府采购自主创新产品目录》，凡国家重大建设项目和使用财政性资金采购装备的项目，有关部门应将承诺使用国产新产品作为申报立项的必要条件。对使用国内研制、生产的首台（套）智能制造装备的企业，给予装备价格 10% ~15% 的奖励，对智能测控系统和关键基础零部件在智能装备上的应用，以及智能制造装备在重点

领域制造过程中的应用，给予用户风险补贴或奖励，或采取设备添置费部分抵扣所得税和加速折旧等鼓励措施，鼓励保险公司开展首台（套）重大技术装备保险业务，增强用户购买和使用首台（套）装备的信心。

3. 建立依托工程的发展机制

建立完善依托工程发展智能制造装备机制，优先鼓励由用户企业和制造企业组成的产业联盟参与工程招投标，共同开发重大智能制造成套装备，鼓励金融机构开展多种形式的首台（套）保险业务。积极落实首台（套）政策，支持智能制造装备应用推广。

制定培育智能制造装备产业的行动方案，围绕智能制造装备产业的重点方向，编制《智能制造装备发展目录》，发布技术政策，制定领域发展行动计划，围绕产品技术攻关、标准体系建设、品牌培育、产品演进、产业化推进等方面制定具体方案。

加快实施高档数控机床与基础制造装备科技重大专项，重点开发支撑航空航天、船舶、汽车、发电设备制造等重点领域发展配套的高档数控机床与基础制造装备，提高主机、数控系统、功能部件自主创新能力和市场的占有率。实施智能制造装备创新发展工程，突破新型传感器技术、高精度运动控制技术、优化决策及控制技术等关键技术，研究开发新型传感器、智能化仪表、自动控制系统等感知、控制装置，以及高性能液压件与气动元件、高速精密轴承、高密精密齿轮和变频调速装置等执行、传动关键元器件，研发一批典型标志性自动化装备。围绕高端智能装备及基础制造装备重点方向，利用现有基础形成一批从事产业共性技术研发的国家工程实验室、国家工程研究中心和国家工程技术研究中心，完善公共研发平台。依托科研院所、高等院校和检测机构等现有资源，建设一批行业检测试验公共服务平台。支持大型企业技术研发中心的建设，加大对龙头企业技术开发实验条件的资助，支持企业建设一批装备精良、运行高效的工程实验室，面向行业和地区提供服务。选择有条件的重点、排头兵企业，增建一批国家认定企业技术中心。

4. 加强国际合作与交流

多层次、多渠道、多方式推进国际合作与交流，鼓励和境外企业及科研机构开展多种形式的研究合作，鼓励企业积极参与技术标准、政策法规的国际交流和协调，完善出口信贷、保险政策，支持智能制造技术、装备及工程服务出口。

充分利用各种渠道和平台，积极探索合作新模式，融入全球产业链。鼓励境

外企业和科研机构在我国设立研发机构，支持国外企业和国内企业开展高端装备联合研发和创新。支持国内企业“走出去”，并购或参股国外高端装备制造企业和研发机构，支持国内企业培育国际化品牌，开展国际化经营，多层次参与国际合作。

5. 推进人才队伍建设

（1）人才引进　国家和各级政府要建立人才引进专项资金和高端人才项目资金，重点引进高层次创新创业人才，特别要引进高层次创新创业团队，加大支持力度，积极吸引海外优秀人才来华创新创业。

（2）加强人才培养　积极营造良好环境，培养一批具有国际领先水平的专家和学术带头人，培养和锻炼一批优秀的从事智能技术和装备研发和创新的团队，培养和造就大量面向高层次需求的实战型工程技术人才。建立科研机构、高校创新人才向企业流动的机制，建立企校联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型、复合型和技能型人才的培养。

（3）完善人才的使用、评价和考核机制　将人才引进、培养与科技创业、科研项目有机结合起来，探索建立技术、专利人股权、期权等政策，充分调动科研机构和人才创新创业的积极性，确保高层次人才引得进、留得住、用得好。加快实施《装备制造人才队伍建设中长期规划（2011—2020 年）》，依托国家相关人才工程、计划，大力实施人才强业战略。以建设创新型科技人才、急需紧缺专业人才和高技能人才队伍为先导，统筹装备制造经济管理人才、专业技术人才、技能人才队伍建设。加大海外高层次人才和国外智力引进工作力度，加速装备制造业人才国际化进程。充分发挥企业、科研院所、高校、职业院校和其他培训机构的平台作用，创新人才培养模式，提高人才培养质量。完善人才评价体系，健全激励与分配机制，营造良好的人才队伍建设环境。

6. 完善产业发展体系与优化产业组织结构

及时制定促进行业发展的相关政策和技术标准，加强金融、贸易、土地、环保、安全生产等政策与智能制造装备产业政策的有效衔接。充分发挥行业协会、中介组织在行业管理中的积极作用。

充分发挥市场的基础性作用，加大机制体制创新力度，着力规范市场秩序，营造良好市场环境。建立依托重大工程发展高端装备的机制，鼓励由装备使用单位和制造企业共同开发高端装备。建立高端装备首台（套）保险机制和示范应用制度，加大对首台（套）及配套系统推广应用的支持。探索建立高端装备发

展与重大项目审批的联动机制，对于重点领域工程项目的所需装备，组织使用单位、制造企业制定装备联合攻关方案，并加快实施。完善招投标制度，加强对招投标工作的指导和监管。推动配套设备及高端装备维修、支援、租赁、服务等产业配套体系建设。加快建立健全有利于高端装备制造业发展的行业标准和重点产业技术标准体系，组织实施智能制造示范工程，以应用拉动产业发展。

以促进高端装备制造规模化、集约化发展为目标，组织和引导高端装备制造领域的骨干力量，建立集“产学研用”为一体的高端装备产业联盟，在科研开发、市场开拓、业务分包等方面开展合作，实现重大技术突破和科技成果产业化。大力推动优势企业实施品牌强企、国际化发展战略，积极开拓海内外市场，强强联合，跨国跨地区并购重组，做大规模，做强实力，加快培育形成一批拥有知识产权的知名品牌以及主业突出、带动明显、具有国际竞争力的跨国大企业集团。鼓励规模经济效益显著的基础零部件、工艺辅具和适宜专业化发展的配套产品制造企业开展专业化协作配套，形成一大批具有竞争优势的“专、精、特、新”中小企业。

第 3 章　国外智能制造装备产业发展分析

3.1　发达国家智能制造装备产业的发展特点

装备制造业是国家经济竞争力的核心，被喻为国家工业化建设的“发动机”，没有现代的高端装备制造业，就没有现代化的工业化。大体来说，战后发达国家装备工业经历了两个发展阶段，即“批量化生产方式”占主导地位阶段和“柔性化生产方式”占主导地位阶段。伴随着发达国家装备工业生产组织方式两个阶段的演变，其产业组织模式表现出两个鲜明的特点：

1. 建立了确保产品质量的专业化、标准化分工协作体系

发达国家的设备生产完全实现了社会化专业生产。首先需要实现技术开发与制造加工分离，以保证制造加工的专业化。其次是细分制造加工内部的各个工序，形成从产品开发设计到零部件的生产制造装配，从制造装备到产品的销售以及售后服务等一系列精细分工的专业化企业协作完成。由于其专业化的分工协作体系，保证了产品在每个生产加工环节均保持了很强的创新能力，加工产品的质量、性能要求都能得到满足。同时，标准化的加工过程使得生产加工的各环节能

够保持技术上的同步性，从而保证了最终产品的质量。专业化、标准化的分工协作体系是发达国家能够在装备工业领域形成垄断优势的基础，也是发达国家实现了工业化的重要标志。

2. 形成以核心企业为中心的寡占型市场结构

在发达国家的装备工业化进程中，各产业都形成了寡占型企业占主导地位的产业组织模式，这种组织结构可以使这些大型的核心企业发挥着多种功能：寡占型企业有能力成为技术开发的主要承担者和主体，使科研经费的投入变成生产循环不可缺少的一部分，产品的创新性也因此得到提升；可以通过发挥技术、资金等优势来提高竞争门槛，避免重复建设、过度竞争；可以成为众多中小企业的核心企业，组织中小企业承担专业化配套加工，推动社会专业化分工体系形成，并向中小企业转移技术，推动社会生产在技术、生产标准等方面实现一致性。

总而言之，发达国家装备业的产业组织一般都朝着集中和分散两个方面成长：第一是生产趋向集中化，即生产要素越来越集中于专业化大型企业；第二是生产趋向分散化，即生产要素向与大型企业有协作关系的中小型企业扩散。通过这种关联作用，形成规模经济，并建立起分工协作的大中小型企业共生的产业组织模式。

3.1.1 美国智能制造装备产业的发展特点

1. “研发与生产—出口—进口”的发展模式

美国在基础科学研究、高新技术研发方面均处于领先地位，是典型的工业发达国家的发展模式。作为制造业领军国家之一，美国长期在基础科学研究方面投入大量的人力和物力，配置一流的研发力量，并率先开发和生产出新的技术和产品，抢占市场发展先机，获得更多的收益。在新产品在国内市场销售量上升的同时，美国开始向后发工业国家出口产品，不断扩大产品在国际市场上所占的份额。随着技术在全世界的普及，竞争者数量逐渐增多，美国开始进行跨国投资，向后发工业国输出资本和技术，在国外就地生产和销售，将制造工厂转移至后发工业国。当国外的产品成本大幅下降时，美国开始从国外进口产品，转而研究和开发更高端的产品，开始新一轮的“研发与生产—出口—进口”过程。

2. 跨国公司是装备制造业发展的主体

据统计，2010 年世界 500 强企业中美国企业有 140 家，2015 年虽下降至 128 家，美国上榜企业数量仍居世界第一，其中 1/4 左右是装备制造业企业，包括跨

国汽车公司福特公司、通用汽车公司等。在信息产业领域，美国英特尔公司的中央处理器与微软公司的应用软件几乎控制了全世界的计算机硬件和软件市场。这些拥有顶尖技术的跨国公司通过建立国际技术联盟、设立研发中心、吸引高科技人才的方式，发展具有自主知识产权的技术和装备，是装备制造业发展的主体。

3. 美国政府的大力支持

长期以来，美国政府一直致力于建设一个健全的、有效运行的国家创新体系。在产业技术的发展方面，美国政府给予了实质性的支持，陆续制定了一系列产业发展政策以及税收优惠减免政策，以鼓励企业加大科技开发力度，促进本国制造业的发展。为抢占高科技制高点，增加产业竞争力，美国制定并实施了若干重大专项计划，推动产学研对关键技术的联合攻关。得益于美国政府的大力支持，美国装备制造业聚集了高额的研发资金和大批高科技人才，为装备制造业的发展提供了有力的技术支撑。

4. 新兴装备制造业正逐步成为推动社会发展的主导力量

在 20 世纪 90 年代以前，传统装备制造业，如汽车产业、机床行业，一直是美国装备制造业发展的主导产业。随着信息技术的快速发展，美国制造业的发展方向发生转变，新兴装备制造业所占市场份额开始逐步提高，包括通信设备、计算机行业等，也因此带动了与此相关的高级生产型服务业的发展，包括软件服务业、IT 咨询业等。新兴装备制造业所创造的产值在美国国民经济总产值的比重逐渐升高，为全球高科技人才提供了大量的就业机会，已经成为推动社会发展的主导力量。

3.1.2 日本智能制造装备产业的发展特点

1. “进口—国内生产—出口”的发展模式

日本作为后发工业国家的代表，其装备制造业经历了从不发达到发达的过程。最初，由于日本国内的生产技术和资本等要素尚不具备，不得不依赖从美国等工业发达国家进口高端产品。随着日本装备制造业的发展，逐步开始自行生产和开发产品，通过国产化代替进口。随着对引进技术的消化、吸收、创新和规模经济的逐步形成，日本开始逐步形成成本优势，产品开始出口国外。这种发展模式之所以能够提升日本的制造水平，主要得益于日本对引进技术的消化吸收再创造的重视，从而推动了日本装备制造业的升级换代。

2. 政府实行了合理有效的产业政策

在日本工业化进程的不同阶段，日本采取了不同目标的产业政策。战后复兴阶段，日本重点发展电力设备、造船业、汽车、半导体等产业，带动了日本整个经济的上升。从20世纪60年代开始，日本开始追赶欧美等发达国家，确立了“贸易立国”和“科技立国”的战略。日本政府就装备制造业的发展颁布了若干法律和优惠政策，促进了本国装备制造业水平的明显提高，使得日本实现了成为世界级制造中心的目标。

3. 装备制造业目前面临优势弱化的风险

日本的创新更偏重于过程创新，而忽视产品创新。日本对基础研究开发投入较弱，导致基础研究能力薄弱，使日本在新一轮发展过程中的国际竞争力下降。日本的电子及通信设备制造业、交通运输设备制造业在赶超后逐渐失去了强劲的发展势头，进入了技术模仿的瓶颈期。日本在半导体核心技术生产方面的比较优势已经让位于基础研发能力强大的美国，在造船业、电气机械制造、家用电器等方面已经逐步被韩国赶超，技术含量低的门类其比较优势也已经开始失去，从主要出口开始变成进口。在全球信息化发展的大背景下，装备制造业开始逐步引进计算机辅助设计，与美国相比，日本在以信息技术为主导的新兴装备制造业方面发展较为滞后。

3.1.3 德国智能制造装备产业的发展特点

1. “以人为本”的理念

20世纪90年代，美国大力发展信息业，而德国仍然把培养装备制造业工程师作为重点，其影响虽然表现为目前德国信息业相对滞后，但是装备制造业依然牢牢占据市场份额。德国公司特别注重培养熟练的技工人才，新工人必须经过严格培训并考核合格后才能上岗。生产实践中坚持师徒之间的技艺传承。德国在发展工业自动化过程中，同样强调人的作用，强调即使计算机管理整个生产过程，真正发挥创造性并起决定性作用的仍然是高素质的人。在高福利的社会保障体系下，技术工人可以享用最好的福利资源，成为社会中产阶级的中坚力量。这样也就能保证高素质人才源源不断地补充这个队伍，为其装备制造业提供长久的发展动力。

2. “德国制造”的品牌

德国标准体系代表了国家对工业标准的主动干预，在数代产业工人的实践经

验基础之上，由国家出人出力，在理论和标准层面对行业产品进行统一规划，这样既有效协调了本土企业之间的竞争，又整体上提升了德国工业品的国际竞争力。时至今日，德国标准体系已经成为欧盟乃至世界范围内通用的标准，“德国制造”几乎成为品质和信誉的代名词。为了保证质量，德国标准体系很多时候都详细规定了制造业某种产品的细节和流程，任何一件产品都必须严格按照德标的规定进行生产，每一步骤都有相应的检验核查标准。

3. “创新实力”的驱动

与美国、日本这些发达装备制造业国家一样，在装备制造业领域德国能够保持世界领先地位，根本在于拥有众多先进的专有技术，这是德国长期坚持参与研发领域国际竞争的结果，其创新实力来源于庞大的工程师队伍和研发投入。此外，德国的联邦和各州近年来仍不断提出加强科研的倡议，其中采取的措施之一是“精英团体”计划，支持 5 年以上的大型研究项目。有了优秀的人才和创新机制，就能不断培育出领先的技术。

3.2 国外智能制造装备产业发展政策支持

20 世纪 90 年代以来，各发达国家和地区，如美国、日本、欧共体、德国等都针对先进制造技术的研发提出了国家级发展计划，旨在提高本国、本地区制造业的国际竞争能力。

3.2.1 美国产业发展政策支持

为了保持其制造业的全球竞争优势，美国联邦政府推出了一系列的制造业振兴计划。1991 年美国里海大学（Lehigh University）提出“美国企业网”（FAN，Factory American Net）计划，该计划的目的是研究如何利用信息高速公路，把美国的制造企业联系在一起。1992 年，美国执行被总统称之为“关键重大技术”（Critical Technology）的新技术政策，其中包括信息技术和新的制造工艺，智能制造技术也在其中。美国政府希望借此改造传统工业并启动新产业。随后，美国相继开展了“敏捷制造的使能技术”（Technologies Enabling Agile Manufacturing，TEAM）的研究（1994—1999 年）、以敏捷制造和虚拟企业为核心内容的“下一代的制造”模式的研究（1995 年）、计算机辅助制造网（CAM Net）的研究（1996 年）、俄罗斯 – 美国虚拟企业网（Russian – American Virtual Enterprise Network，RA – VEN）的研究（1997 年）等。为支持中小企业技术创新、提高中小企业技术创新能力和效率，美国政府帮助中小企业建立了信息网络，为中小企业

免费提供广泛的信息服务。在美国空军科学制造计划的资助下，卡内基梅隆大学完成了首台智能加工工作站的样机。与此同时，美国工业界以极大的热情投入到智能制造的开发与研究中，提出“智能制造，新技术、新市场、新动力”的口号。2000 年，美国洛克希德·马丁公司提出了 F－22 飞机研制的虚拟工厂概念，打通了从设计、生产到管理的全数字化信息流。2001 年，该公司为完成美国联合攻击战斗机（JSF）的研制和采购项目，采用产品全生命周期管理（PLM）技术，构建了全球性的虚拟企业，实现了单架飞机的全生命周期的跨地区、跨企业的协同设计、协同制造以及协同维护的全生命周期。2005 年，美国政府出资创建了智能机床启动平台（SMPI），该平台成员涵盖公司、政府部门以及机床厂，重点开展智能机床方面的研究。2009 年 12 月，美国提出《重振美国制造业政策框架》、2011 年 6 月提出《先进制造伙伴计划》、2012 年提出《先进制造业国家战略计划》，这一系列计划旨在依托新一代信息技术、新材料、新能源等创新技术，加快发展技术密集型的先进制造业，实施基于信息高速公路的敏捷制造的美国 21 世纪的制造战略。作为先进制造业的重要组成，以先进传感器、工业机器人、先进制造测试设备为代表的智能制造得到了美国政府、工业界各层面的高度重视，目前已经取得长足进展，相关技术产业出现良好的发展势头。

3.2.2 日韩产业发展政策支持

1990 年，日本东京大学 Furkawa 教授提出智能制造系统（IMS）国际合作项目并被日本通产省正式立案为国际共同研究开发项目。日本、美国、加拿大、澳大利亚、瑞士、韩国和欧盟在 1991 年 1 月联合开展了 IMS 国际合作计划。这是为了克服 FMS（柔性制造系统）、CIMS 的局限性，把日本工厂和车间的专业技术与欧盟的精密工程技术、美国的系统技术充分地结合起来，开发出能使人和智能设备都不受生产操作和国界限制、彼此合作的高技术生产系统。该计划鼓励工业界、学术界和政府在现代制造技术领域里进行广泛的研究与合作，其目标是全面展望 21 世纪现代制造技术的发展趋势，先行开发下一代的制造技术，以解决全球制造业面临的共同问题，改善地球环境（包括生产环境），提高资源有效利用率，提高产品质量和性能，促进现代制造技术成果向生产力的转化，积极推动全球制造信息、制造技术的体系化和标准化，快速响应制造业全球化的发展趋势。

从 1995 年开始，IMS 计划进入全面实施阶段，IMS 的国际合作研究开发一般分为全球合作、复杂制造、先进制造、发展制造业、扩大和开放市场五个层次。1992 至 1994 年间，日本投资 10 亿美元建立了六项工业界主导的“可行性国际合

作测试案例”，包括“流程工业洁净制造”“全球化制造同步工程”“世纪全球化制造”“全方位制造系统”“快速产品开发”和“知识系统化”智能系统，重点研究了开发全球化制造、下一代制造系统、全能制造系统等技术。2004 年，日本启动了“新产业创造战略”，为制造业寻找未来战略产业，并将信息家电、机器人、环境能源等领域作为重点发展对象，努力提高日本制造业在国际上的产业竞争力。

韩国于 1991 年年底提出了“高级先进技术国家计划”，即“G－7 计划”，包括七项先进技术及七项基础技术，目标是到 2000 年把韩国的技术实力提高到世界第一流发达国家的水平，该目标已基本达到。为占领智能化生产技术的制高点，韩国目前又将智能制造技术列入“高级先进技术国家计划”之中，重点研究智能化生产技术。

3.2.3 欧盟产业发展政策支持

欧盟早在 1982 年制定的信息技术发展战略计划中就强调了智能制造核心技术的开发。由德国、法国和英国发起的主题为“未来的工厂”的尤里卡项目，将解决敏捷智能制造方面的研究与开发作为重点。德国西门子、瑞士 ABB、法国施耐德电气等公司已将部分人工智能技术应用到工业控制设备与系统中。由欧盟资助的智能制造系统 IMS2020 计划囊括了意大利、德国、瑞士、美国、日本、韩国等多个发达国家与 SAP、IBM、Siemens、BMW、MIT、Cambridge 等多家企业与高校。针对可持续制造领域、节能制造领域、关键技术领域、标准化领域、创新培训领域五个关键领域，规划并逐步完成 1～3 年的短期目标、7～10 年的中期目标以及 10～15 年后的智能制造蓝图。1998 年 12 月，欧洲联盟公布了“第五框架计划（1998—2002）”，将虚拟网络企业列入研究主题。2002 年，欧盟提出了“第六框架计划”，选定了需要重点攻关的 7 大领域，计划中的第三部分涉及制造技术前沿的研究，主要包括加工仿真与新技术开发、新型机床研发，轻型结构及机床组件研究和并联机床研发等内容。加工仿真与新技术开发研究包括表面加工质量检测与切削参数优化，铣削、车削加工过程建模与仿真，超精密加工技术等方面的研究。新型机床研发包括高速机床的研发、开放式数控系统及光纤传感器应用等方面的研究。机床组件研究包括轻型材料机床组件、旋转轴准确度测定及空气静力轴承等的研究。参加单位包括西门子、达诺巴特等机床生产企业，博世、菲亚特等终端用户企业，以及德国亚琛工业大学机床与生产工程研究所，汉诺威大学生产工程研究所、布达佩斯技术与经济大学等研究机构。

2013 年，德国针对来自亚洲制造业的竞争威胁和美国的《先进制造业国家战略计划》，提出了“工业 4.0”计划，期望充分发挥德国在制造业的现有优势，以确保德国制造业的未来。“工业 4.0”是以智能制造为主导的第四次工业革命或革命性的生产方法，两大主题分别为“智慧工厂”和“智能生产”。德国依托其在加工过程中广泛应用的信息和通信技术、强大的机械和装备制造业、在嵌入式系统和自动化工程方面的高技术水平和全球市场的领导地位，通过“工业 4.0”计划的实施进一步巩固其作为全球领先生产制造基地、生产设备供应商和 IT 业务解决方案供应商的地位。工业发达国家都把先进制造技术作为国家级关键技术和优先发展领域，尽管决定国家综合竞争力的因素有多种，但制造业的基础地位不能忽视。

3.3 国外智能制造装备产业发展经验

3.3.1 美国智能制造装备产业的成功经验

美国是当今世界头号经济强国，更是装备制造业大国。自 20 世纪 20 年代起，美国以轿车制造业、军工产品制造业为标志，一度处于世界装备制造业的领军位置，使得美国在第二次世界大战与苏联的军备竞争中立于不败之地。但自 20 世纪 70 年代后期至 80 年代初期，美国受“第三次浪潮”的影响而强调发展第三产业，削弱了装备制造业对国民经济健康发展的保障作用。美国曾一度将制造业称为“夕阳工业”，制造业不像以前那样受重视，政府转而支持第三产业和信息产业。在此期间，美国政府对制造业的科技研发投入、产业扶持的力度明显减弱，致使制造业水平明显落后，国际竞争力严重下降，其制造业领先地位遭到国际竞争者的严峻挑战。

1973 年，全球出现石油危机，日本节能型轿车乘机大举进入美国市场，这是美国传统机械制造业衰退的标志。1983 年，日本轿车产量首次超过美国，从而取代了美国轿车制造业的霸主地位。与此同时，美国的机床等其他装备制造产品在国内市场的竞争力也明显低于日本、德国乃至韩国。由此带来的影响是，美国的物质生产受到削弱，对外贸易赤字也持续攀升。

面对现实，美国政府认识到经济霸主地位正在受到威胁，由政府亲自出面组织、协调并支持产业的发展。从 20 世纪 80 年代起，美国组织了各专门委员会，从农业、科技、教育等各个方面对美国制造业和制造技术进行了深刻反省。美国国家安全局对 61 个国家的数据研究表明，“机械的积聚是国家生产力增长的主要

决定因素”。美国辛辛那提大学的研究报告指出，“美国的主要工业在国际上保持竞争优势取决于在国际上最早获得新一代的机器设备”。着眼于21世纪制造业的发展，美国政府积极支持并参与学术界和企业界制定的“21世纪制造企业战略”，期望以此改变制造业的衰退局面。从此以后，美国政府强调发展制造技术，将其列为国家关键技术前六大领域之一。同时，美国政府改变了技术政策，第一次由政府出面组织、协调和支持产业技术的发展，成立了国家制造科学中心和制造信息资源中心，并相继出台了促进制造技术发展的“先进制造技术计划”和推动制造技术推广应用的“制造技术中心计划”。1994年是美国的制造技术年，先进制造技术是唯一重点支持的科技领域。

2005年，美国国家标准与技术研究所（NIST）提出了“聪明加工系统（smart machining system，SMS）”研究计划，包括：①系统动态优化。即将相关工艺过程和设备知识加以集成后进行建模，进行系统的动态性能优化。②设备特征化。即开发特征化的测量方法、模型和标准，并在运行状态下对机床性能进行测量和通信。③下一代数控系统。即与STEP－NC兼容的接口和数据格式，使基于模型的机器控制能够无缝运行。④状态监控和可靠性。即开发测量、传感和分析方法，在加工过程中直接测量刀具磨损和工件精度的方法。2009年4月，刚刚出任美国总统的奥巴马发表演讲，提出将重振制造业作为美国经济长远发展的重大战略。同年12月，美国政府出台《重振美国制造业框架》，详细分析了重振制造业的理论基础及优势，成为美国发展制造业的战略指引。随后奥巴马政府从战略布局、发展路径到具体措施，逐步展开，完成了制造业创新计划部署。2011年6月，美国正式启动“先进制造伙伴计划（Advanced Manufacturing Partnership Plan）”，同日发布“实现21世纪智能制造”的文件，旨在加快抢占21世纪先进制造业制高点。2012年2月进一步推出“先进制造业国家战略计划”，通过积极政策，鼓励制造企业回归美国本土。上述计划包括两条主线，一是调整、提升传统制造业结构及竞争力，二是发展高新技术产业，提出发展包括先进生产技术平台、先进制造工艺及设计与数据基础设施等先进数字化制造技术。意图通过采用21世纪的数字信息技术和自动化技术，加快对20世纪的工厂进行现代化改造过程，以改变以往的制造方式，借此获得经济、效率和竞争力方面的多重效益。2012年3月，奥巴马首次提出建设“国家制造业创新网络”，建立最多45个研究中心，加强高等院校和制造企业之间的产学研有机结合。2012年8月，美国政府和私营部门联合出资8 500万美元成立了“国家3D打印机制造创新研究所”。

2013 年 1 月，美国总统执行办公室、国家科学技术委员会和高端制造业国家项目办公室联合发布了《国家制造业创新网络初步设计》报告，投资 10 亿美元组建美国制造业创新网络（NNMI），集中力量推动数字化制造、新能源以及新材料应用等先进制造业的创新发展，打造一批具有先进制造能力的创新集群。2013 年 5 月，美国政府宣布提供 2 亿美元联邦资金，成立“轻型和当代金属制造创新研究所”“数字制造和设计创新研究所”和“下一代电力电子制造研究所”三个制造业创新中心。这一创新网络的重点研究领域包括：开发碳纤维复合材料等轻质材料，提高下一代汽车、飞机、火车和轮船等交通工具的燃料效率、性能以及抗腐蚀性；完善 3D 打印技术相关标准、材料和设备，实现利用数字化设计进行低成本小批量的产品生产；创造智能制造的框架和方法，允许生产运营者实时掌握来自全数字化工厂的“大数据流”，以提高生产效率，优化供应链，并提高能源、水和材料的使用效率等。据美国智库威尔逊中心发布的《全球先进制造业趋势报告》，美国研发投资量位于世界首位，其中 3/4 投向制造业，在合成生物、先进材料和增材制造等先进制造业领域优势明显。分析人士认为，在政府和私营部门的大力推动下，美国很有可能出现以无线网络技术全覆盖、云计算大量运用和智能制造大规模发展为标志的新一轮技术创新浪潮，美国智能制造技术产业保持高水平发展。

从美国装备制造业的成功经验中可以看出，一贯实行“加强竞争和开放市场”经济战略的典型市场经济国家，在发展制造业中也离不开政府的支持，政府在产业竞争力提升中起到“催化剂”的作用，装备制造业更是如此。但是，美国政府支持的侧重点与日本有所不同，美国一直把技术作为政府支持的重点，通过促进提高技术创新能力来达到产业竞争力提升的目的。

3.3.2 日本智能制造装备产业的振兴之路

日本是较为成功地运用法律、政策等手段实现装备制造业振兴的国家，为装备制造业的现代化发展提供了良好的制度环境。日本振兴装备制造业始于 20 世纪 50 年代中期。其标志是 1955 年的《石油化学工业扶持政策》，1956 年的《机械工业临时措施法》，1957 年的《电子工业临时措施法》，后两个法规以基础机械、通用零部件和出口机械等三十多种机械产品为振兴对象，由日本开发银行和中小企业金融公库根据合理化计划进行特别贷款。

1. 立法保障和长远规划

1970 年，日本为振兴计算机产业，制定了《关于信息处理振兴事业协会的

法律》，重点发展计算机硬件。1971 年，日本在原有《机械工业临时措施法》《电子工业临时措施法》的基础上修改制定了《振兴特定电子工业及待定机械工业临时措施法》，重点扶持汽车和计算机产业。1978 年，为了促进软件产业的发展，日本制定了《振兴特定信息产业临时措施法》。日本在为机械信息产业立法的同时，规定了相应的国家补贴和财政补贴等措施，为企业的发展提供了大量的资金。

1999 年 3 月，日本政府颁布了《制造基础技术振兴基本法》，日本政府认为，即使在未来的信息社会，制造业始终是基础战略产业，必须持续加强和促进制造业基础技术的发展。该法案通过改善税收政策、提高福利待遇等措施，以确保有丰富经验的技术工人不会流失，并加强了企业、大学和科研院所的合作。

2. 技术创新导向的政策保障

日本在加入 OECD（经济合作与发展组织）之前，对于 3 万美元以上的技术引进合同，制定了严格的审查标准，其主要包括：防止引进妨碍本国技术发展和产业化的技术，防止由于垄断性地引进广为利用的技术，而阻碍国内重要产业的健康发展等。随着日本产业竞争能力的增强，日本政府认为有必要减少对技术进口的限制，于 1968 年制定了《关于引进技术自由化法》，除了飞机、武器、火药、原子能、宇宙开发、电子计算机、石油化工技术仍然需要个别审查以外，一般技术实行引进自由化。

3. 均衡发展的企业政策

1963 年，日本通产省产业结构调查会提出了“新产业体制论”，即为适应战后科技革命对产业大型化的影响，针对日本企业生产规模和经营规模小，企业在价格、设备投资、技术开发等方面过度竞争的状况，加强企业的联合和兼并，制约过度竞争，通过扩大企业的规模经济效益，增强了企业的国际竞争力。

为了防止产业结构二元化，日本政府在 20 世纪 60 年代后期，通过了《中小企业指导法》《中小企业现代化扶持法》等法规来促进中小企业的发展，并促进中小企业和大企业建立密切的协作关系，成为大企业的转包企业，纳入以大企业为中心的企业系列，为中小企业开辟产销渠道，并提高技术和管理水平，增强竞争能力和产品的市场占有率。大企业也通过参与资本、提供设备、派遣技术和管理人员等途径大力扶持零部件企业，建立专业化协作生产体制。到 20 世纪 70 年代，日本产业结构二元化现象基本消除。

4. 积极鼓励的财税政策

1957 年，日本政府实施的《租税特别措施法》，对企业符合要求的设备提供特别折旧。1958 年，制定了《新技术企业化用机械设备特别折旧制度》，对实验设备的改造提供补贴。1966 年制定的《扣除试验研究费的税额制度》规定，如果企业在该制度的适用年度进行试验研究需要的费用，超过以前每年试验研究的最高额，超额部分按一定比率扣除税额（20%）。

日本开发银行和中小企业金融公库为日本制造企业提供贷款，日本开发银行于 1964 年设立“重型机械开发”贷款，1968 年设立“新机械企业化”贷款，这两个政策和 1951 年的“新技术企业化贷款”一起形成“国产技术振兴资金贷款制度”。1970 年，中小企业金融公库实行《国产技术企业化等贷款制度》，对新技术的企业化以及新机械的商品化试验提供低息贷款。

日本政府为企业提供直接的研发补贴和委托研发拨款，引导企业开展重点领域的研发活动。1966 年，日本制定“大型工业技术委托研发费”，主要促进新技术和新产品开发，在尖端领域中选定题目，委托企业进行研究；1967 年制定《技术改善补助金制度》；1968 年制定《国际竞争力制度》；1972 年制定《保护扶植产业制度》；20 世纪 70 年代，日本政府拨款资助三菱、东芝、日立公司开发超临界火电机组；20 世纪 80 年代，日本政府又拨款资助开发超导实用技术。据统计，为高技术产品研制提供政府拨款的费用，在日本全年研发费用中最高比例达到 40%。

5. 银行支撑的金融政策

以全国性都市银行和地方银行为代表的商业银行体系，为企业提供短期贷款为主的金融业务，以长期信用银行、债券信用银行为代表的信用银行体系，则为企业提供中长期的贷款。在企业融资的过程中，通产省的金融政策发挥了重要作用。通产省在引导金融机构向企业注入资金时，根据企业的素质、市场占有率、经济规模、产品水平等方面，严格规定了获得优惠贷款的条件，并在争取政策优惠贷款方面，鼓励企业公平竞争。

6. 适当的关税保护政策

战后的日本对产品进口采取了进口配额限制和高关税壁垒，以保护本国产业，日本加入 GATT（关税和贸易总协定）后，逐步取消了数量限制，但是在贸易自由化中加强了关税抑制进口的作用。1961 年和 1962 年，日本对当时执行的

关税体制进行了改革，一方面随着产业竞争力的提高，逐步降低相关产品的关税；另一方面将部分商品由从价税改为从量税，制定紧急关税制、关税配额制、混合关税制等灵活的保护关税制，更重要的是建立了针对不同的产业实行生产资料低关税、消费资料高关税，针对不同的生产加工阶段实行初级产品、原材料低关税，最终产品高关税的“倾斜的关税结构”。这种新的保护结构，大大提高了保护的有效性。

7. 巧妙的非关税保护措施

制定国内税法，使国外产品在日本市场处于不利地位。日本对汽车曾征收过物品税，小型乘用车 15%，中型乘用车 30%，高级乘用车 50%。由于日本在战后初期只生产小排量汽车，与欧美相反，实际上对欧美车的销售起到了遏制作用。出口到日本的产品要符合日本政府规定的复杂技术标准，通过长时间的检查。日本政府各个部门都可以制定一些行业规定，这些规定明显不利于外国商人进入日本市场，如日本建设省制定了很多参加投标的建筑标准。比如要在日本参加多少年的建设经历才可以投标，实际上排挤了外国的建筑商。文化、习惯因素的保护作用是无形的非关税壁垒，日本人在经济活动中有很多独特文化形成的交易方式，使外国人摸不着头脑，形成所谓的“弄不清的销售网络”。日本在使用非关税保护手段时，尤其在制定有关的国内法规时，有法律专家参与，十分讲究技巧。

8. 严格谨慎的外资开放政策

日本于 1955 年加入 GATT，1964 年加入 OECD。OECD 在资本自由化原则上要求 100% 的资本自由化，日本加入 OECD 后，自然必须履行资本自由化的义务。迫于压力，日本政府不得不宣布分步骤地开放资本市场，分别于 1967 年、1969 年、1970 年、1971 年和 1973 年 5 次逐步增加对外资开放的产业，但是仍然保留了石油工业、矿业等产业，并推迟了电子计算机产业的开放时间。

9. 教育为本的人才政策

日本从 20 世纪 50 年代的 20 多年里，始终把教育计划作为经济计划的重要组成部分，提出了很多具体的目标和要求，为经济目标的实现发挥了重要作用。1958 年，日本通过了《职业训练法》，对企业教育产生了良好的影响，很多企业采取了学校的形式对职工进行有计划的培训。同一年，日本发布《新长期经济计划》在“振兴科学技术”部分提出，“为促进引进先进技术和发展本国技术，在

整顿研究开发体制的同时，要加强以高中、初中、小学的科学技术教育及充实研究为根本”。1961 年，日本《国民收入增倍计划》的第三章“提高人的能力和振兴科学技术”中包括：经济发展和人的能力、振兴科学技术、确立教育及职业训练制度三个问题，并提出了普及高中等教育、充实科学技术教育、扩充职业训练、增设工业高中、扩充公共职业训练机构、加强职业指导、增招理工科大学生、培养科技人员等发展目标和具体措施。1964 年，日本《中期经济计划》的第 6 章“提高人的能力和振兴科学技术”中指出，鉴于熟练劳动力的供应不足和国际竞争的加剧，在此条件下发展经济必须采取如下政策：提高人的能力，提高科学技术水平，丰富国民生活的内容，提高文化水平，充实后期中等教育，普及提高国民的能力水平，要充实研究生院和大学，培养高才能的人，要整顿充实职业训练制度，增招理工科大学生，增设工业高中，以培养科学家、技术员和技工，并强调为振兴科学技术而制定科学技术长期综合计划的重要性。1979 年，日本发布《新经济社会七年计划》，在此计划的 5 项具体目标中，教育文化和学术研究占有很大比重，是实现具体目标的有机组成部分，计划要求：改善充实学校教育，谋求提高大学质量，有计划地培训人才，振兴文化，振兴学术研究，谋求发展独立的、先导的学术研究，整顿学术研究机关，努力培养优秀的科研人员。

3.3.3 德国智能制造装备产业的发展经验

德国是高度发达的欧洲头号经济强国，是位居美国、日本之后的世界第三大装备制造业强国。其中，在装备制造业中处于核心地位的机器和设备制造业是德国就业人数最多、销售额位居各工业部门第二的四大工业支柱产业之一。20 世纪 70 年代，德国制造业的高速发展带动了机器和设备制造的快速发展。

到了 20 世纪 80 年代，由于劳动成本高、公司治理结构缺陷以及企业太重视技术层面、忽视用户偏好等原因，逐渐削弱了德国制造业的竞争力，从而制约了机器和设备制造业的发展，德国机器和设备制造业在全球市场的份额一直停滞不前，包括机器和设备制造业在内的整个制造业都存在着加大技术创新力度和调整结构的问题。

面对这一困境，德国政府积极扮演倡议者和催化剂的角色，在充分发挥企业的主体地位下，开辟了企业之间、科研机构之间以及企业和科研机构之间就“21 世纪的德国制造业”“产品开发与产品制造”“企业员工素质与技术创新”等热门问题进行对话的渠道。

在联邦政府的倡议下，来自工业界、科技界、行业协会、工会和政府机构的众多专家就“21 世纪德国制造业发展战略”等主题进行了广泛深入的讨论。在此基础上，联邦政府于 1995 年出台了《制造技术 2000 年框架方案》，确定了关系到 21 世纪德国制造业发展的六大研究重点。依照该框架方案，联邦政府在 1995—1999 年的五年间投入资金 4.5 亿马克，对没有足够自有资金进行自主研究开发的中小企业给予经济上的资助。研究开发的重点集中在机床结构优化技术、微切削加工技术、制造过程中的信息技术等七个方面。

为了 21 世纪继续保持装备制造业强国的地位，在后金融危机时代，德国日益感受到一些隐忧，从而提出“工业 4.0”方案来加以应对。德国“工业 4.0”是由德国产学研各界共同制定、以提高德国工业竞争力为主要目的的战略。德国“工业 4.0”这一概念问世于 2011 年 4 月在德国举办的汉诺威工业博览会，成型于 2013 年 4 月德国“工业 4.0”工作组发表的名为《保障德国制造业的未来：关于实施“工业 4.0”战略的建议》的报告，进而于 2013 年 12 月 19 日由德国电气电子和信息技术协会细化为“工业 4.0”标准化路线图。目前，“工业 4.0”已经上升为德国的国家战略，成为德国面向 2020 年高科技战略的十大目标之一。

之所以称为“工业 4.0”，是因为德国认为迄今为止人类已经经历了三次工业革命：18 世纪末引入机械制造设备的“工业 1.0”，20 世纪初以电气化为基础导入大规模生产方式的“工业 2.0”，始于 20 世纪 70 年代建立在 IT 技术和信息化之上的“工业 3.0”。而支撑“工业 4.0”的则是物联网技术和制造业服务化倾向的兴起。虽然技术进步是启动“工业 4.0”的催化剂，但“工业 4.0”的实质是德国版的发达国家“再工业化”战略，是德国 2006 年提出的《德国高技术战略》和 2010 年《德国高技术创新战略 2020》的升级版。在全球制造业竞争加剧的背景下，尽管德国因其强大的制造业传统而表现较好，但依然能感受到产业空心化和传统制造业向外转移的威胁，因而未雨绸缪地提出了这一工业升级的战略。

“工业 4.0”的核心是“智能 + 网络化”，即通过信息物理系统（Cyber Physical System，CPS）构建智慧工厂，实现智能制造的目的。CPS 系统建立在信息和通信技术（ICT）高速发展的基础上。基于 CPS 系统，“工业 4.0”通过采用双重战略来增强德国制造业的竞争力。一是“领先的供应商战略”，关注生产领域，要求德国的装备制造商必须遵循“工业 4.0”的理念，将先进的技术、完善的解决方案与传统的生产技术相结合，生产出具备“智能”与乐于“交流”的生产

设备，为德国的制造业增添活力，实现“德国制造”质的飞跃。该战略注重吸引中小企业的参与，希望它们不仅成为“智能生产”的使用者，也能化身为“智能生产”设备的供应者。二是“领先的市场战略”，强调整个德国国内制造业市场的有效整合。构建遍布德国不同地区、涉及所有行业、涵盖各类大、中、小企业的高速互联网络是实现这一战略的关键。通过这一网络，德国的各类企业就能实现快速的信息共享、最终达成有效的分工合作。在此基础上，生产工艺可以重新定义与进一步细化，从而实现更为专业化的生产，提高德国制造业的生产效率。除了生产以外，商业企业也能与生产单位无缝衔接，进一步拉近德国制造企业与国内市场以及世界市场之间的距离。

总的来说，德国装备制造业制度变迁的显著特征是政府始终为其创造一个开放与竞争的市场体制环境。如果说创新是德国装备制造业的灵魂，那么开放与竞争性的市场体制则是德国装备制造业发展的基石。历史和现实地看，德国装备制造业的兴起、发展壮大和竞争力提升都是市场良性竞争的结果，既没有过多的壁垒与行政垄断，也没有严格的贸易和投资保护以及政府的财政补贴，更没有不公平的竞争秩序。即使在面临困境的 20 世纪 80 年代，仍然坚持以企业作为主体地位，政府只是充当倡议者的角色，建立起企业与科研机构之间的沟通渠道。然而，政府始终没有放松对中小企业的技术支持，这是因为，作为组装式工业的装备制造，其持续竞争力离不开发达的中小企业所提供的零部件、元器件等。当其他欧洲国家逐步失去了生产性，深陷“主权债务危机”的时候，德国凭借雄厚的装备工业实力支撑，在此次经济危机中受到的冲击较轻。

第 4 章　国内外智能制造装备产业发展比较

4.1　产业发展阶段和技术水平比较

目前美国、德国、日本等工业发达国家在数控机床、测控仪表和自动化设备、工业机器人等方面具有多年的技术积累，优势明显，特别是高端装备优势尤为突出。以工业机器人为例，目前在发达国家工业机器人已得到广泛应用，成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）中最主要的自动化工具，一批在国际上较有影响力的知名机器人公司，如日本的安川、Fanuc、OTC、松下、川崎，德国的 KUKA、CLOOS，瑞典的 ABB，意大利的

COMAU 及奥地利的 IGM 公司等企业已经成为其所在国家和地区的支柱性企业，智能仪器仪表、工业测控网络、无线传感器网络、可穿戴设备、增强现实等，国外公司处于领先地位，已经有产品投入市场，而国内企业因缺少技术储备，技术水平与国外的差距很大。一旦这些新技术和新产品在市场上推广应用，有可能出现新一轮国外产品垄断市场的潜在危险。因此，我国进入智能制造装备领域将面临激烈的国际市场竞争。

美国高技术制造业在世界处于领先地位，在宇航、信息产业、尖端通信设备、大型计算机、软件制造、医疗设备制造方面都具备领先优势。日本高技术制造产业的出口额仅次于美国居第二位，在机电产业、通信设备产业、精密机械产业方面有优势。中国具备国际竞争力的产业是电视机、DVD、手机、个人计算机等家电和电子产品的组装业，但是这些产品的核心部件都要依靠进口。

就宇航工业看，美国和俄罗斯处于世界第一层次，欧盟、日本、中国处于第二层次。中国空间技术在 20 世纪 90 年代以应用卫星技术的研制开发为目标，已取得巨大成功。中国是世界上第三个掌握卫星回收技术、氢氧火箭技术的国家，第四个掌握一箭多星技术的国家，第五个具有研制和发射地球同步轨道卫星技术的国家。总的来看，中国已发展成拥有自己独立技术体系的完整的宇航工业体系，且有自己独特的优势。但是中国宇航工业还有许多不足；在制造基础上，由于基础薄弱，导致工艺、装备落后，关键装备主要依赖进口。

就航空制造业看，改革开放以来，中国航空业具备了自己的研发设计能力。除能设计和成批生产各种军用机外，还能设计和生产民用机，如中型运输机、小型多用飞机、轻型超轻型飞机等。就飞机发动机的研制生产方面看，中国已能自行设计生产活塞式、涡轮喷气式、涡轮风扇式、涡轮螺旋桨式、涡轮轴式等多种性能的发动机。中国是世界上少数能研制生产多种飞机、发动机和机载航空设备的国家之一，航空工业规模已位居世界第三位。但是，无论在飞机制造技术，还是研制、开发技术以及在航空材料研制、生产方面，中国与美国、俄罗斯的差距还很大。同时，后金融危机时代，美国、英国等发达国家重新回归重视发展高技术的制造业，德国、日本竭力保持在智能制造装备领域的优势和垄断地位，韩国也力求跻身世界制造强国之列，这更加挤压了我国智能制造装备产业的发展空间。

4.2 发展规模比较

目前，我国智能装备制造业的规模已经越过 1 万亿元大关，但相比于发达国

家，我国智能装备制造产业“大”而不“强”，所生产的产品缺乏专有核心技术，竞争力不强。而且，随着原材料价格与劳动力成本快速上涨，中小企业面临巨大压力，改造传统装备制造业已迫在眉睫。作为装备制造业中发展潜力最大的智能装备，将成为推进我国装备制造业迈向“高精尖”的最主要力量。在国家重大攻关项目和国家科技重大专项的支持下，近年来我国在智能制造装备方面已取得一批突破性成果。如大型、重型、极端制造装备与数控机床领域，以及一些基础功能部件、数控系统、切削刀具及切削技术等，我国与国外先进技术的差距正在逐步缩短。

大企业大集团是产业群体的核心部分，是产业生产要素的集中体现，往往是产业技术的龙头，代表着行业的发展趋势。2014 年，世界 500 强中，美国有 124 家，中国有 93 家，日本有 57 家，英国 31 家，德国 28 家。一个国家的大企业大集团在世界大公司排名中所占的名次和份额与该国的经济实力排名份额相当。中国总营业额和总利润仅次于美国，位居第二，在产业规模上已与发达国家相当。

4.3 管理方式比较

美国制造企业长期处于世界领先地位，对比中美两国制造公司的企业战略，评价中美两国企业的经营活动，并运用对照结果制定企业生产策略与生产规范，对我国制造企业由大变强具有启迪作用。

1. 企业制造目标的比较

企业制造目标向上承沿着企业经营战略，向下规定着企业制造系统的任务和改善方向。国际制造业战略调查（IMSS）项目设计了 17 项制造目标，调查对象被要求描述它的重要性程度。评分采用 5 分制：“1”代表不重要，“5”代表非常重要。统计结果显示，中国制造企业认为最重要的四项目标是：提高产品质量与可靠性，提高交货可靠性，改进对顾客的服务与支持，提高交货速度；美国企业认为最重要的四项目标是：提高产品质量与可靠性，改进对顾客的服务与支持，提高库存周转率，削减采购成本和生产提前期。中国企业认定的最重要的四项制造系统目标是反映质量、服务和交货的重要指标，基本是反映企业生产系统运行结果的指标，而对反映制造过程质量的指标“提高制造一致性”重视不够。美国企业认定最重要的四项制造系统目标中“提高产品质量与可靠性”和“改进对顾客的服务与支持”也同样位于前列，说明质量和服务是企业参与竞争的资格要素，这是不分国界的。美国企业一直把库存周转率作为评价企业绩效的重要

指标。他们相信：如果企业运营过程控制不好，会发生以库存增加的形式出现浪费。它与“采购成本”及“生产提前期”都是反映企业运营过程质量的重要指标。可见，美国企业对过程质量和成果质量同等关注，著名的美国鲍德里奇质量奖就是有力的证明，其奖项的设计同时囊括了过程质量和成果质量的诸项指标。

2. 企业先进技术应用情况的比较

在企业作业活动中技术应用情况的统计调查中，中国制造企业技术应用程度最高的四项实践活动是：计算机辅助设计、集成工艺系统、产品数据管理系统、计算机辅助监测。美国制造企业应用程度最高的四项技术实践活动是：计算机辅助设计、局域网、产品数据管理系统、柔性制造系统。统计结果显示，在技术实践的应用项目方面，中美制造企业之间没有太大的差别，而在应用程度上却有很大差异。从检验值来看，在自动工具转换、机器人、柔性制造/装配系统、产品数据库系统、局域网五项技术在应用上，美国企业明显高于中国企业，这五项技术都是涉及加工、装配、产品开发等关键环节的关键技术，这是中美企业在技术方面的实质性差异所在。

3. 企业管理实践应用情况的比较

在企业管理活动调查中，中国制造企业应用程度最高的四项管理实践是：更新工艺设备，扩大制造能力，提高设备生产率，新产品开发。应用程度最低的四项管理实践是：拉式生产，质量改进，外包，电子商务。美国制造企业应用程度最高的四项管理实践是：质量改进，拉式生产，更新工艺设备，信息通信技术。应用程度最低的四项管理实践是：供应战略，提高设备生产率，外包，电子商务。统计结果显示：除设备利用率一项外，其余 12 项管理实践在美国企业的应用程度普遍高于中国企业。中国企业应用程度最高的四项管理类活动主要以设备的应用及扩大企业制造能力为核心，这说明中国传统的以“设备为中心”的生产理念还没有从日常经营行为中彻底改变；而美国企业中应用程度最高的四项管理实践主要以质量提高和过程改善为核心。在工艺技术与管理、生产流程设计与组织、计划与控制系统、质量控制与改进、员工授权管理等反映企业运作质量等关键活动方面，美国企业普遍高于中国企业，这是中美制造企业间的又一实质性差距。

通过对比可以发现，中美双方制造企业对“拉式生产”表现出截然不同的态度，在统计上也具有显著性。拉式生产在美国制造企业的评价中位于第二位，而在中国制造企业的评价中却处于最不重要的行列中。这说明美国制造企业对

“拉式生产”的重视，通过计划与控制系统，建立起规范化的、高效率的运营系统，这是许多美国一流企业的核心竞争力所在（通用公司、沃尔玛公司等）。而在这方面，中国制造企业的表现要差得多。另外，对“提高设备生产率”中美制造企业也表现出截然不同的态度。“设备生产率”在中国企业中的评价中位于第三位，而在美国企业的评价中处于最不重要的行列中。美国广泛推行“拉式生产”方式，其核心是在顾客需求的拉动下进行准时化生产，没有需求不组织生产。准时化是最重要的，设备生产率和利用率就不那么重要了。而“设备生产率”在中国制造业中一直受到普遍的关注。通过比较可以得到如下结论：

1）美国制造企业应用先进技术与管理实践的水平高于中国企业，尤其是在一些关键性的技术与管理实践方面表现出统计的显著性。而在制造目标选择与重视程度方面没有表现出显著的差异，这表明中国企业已经认识到了制造业战略的重要，但在行动上做得还很不够。

2）中美两国企业制造业战略的侧重点不同。中国企业制造战略倾向于经营成果和生产要素利用率，而美国企业则注重经营成果与过程质量的统一，对过程质量的关注更明显。这在两国企业生产制造系统目标的确定、制造实践的选择方面也有明显的差异表现。

参考文献

[1] 工信部．高端装备制造业“十二五”发展规划［R］．2012.

[2] 科技部．智能制造科技发展“十二五”专项规划［R］．2012.

[3] 国务院．中国制造 2025［R］. 2015.

[4] 卢秉恒，林忠钦，张俊．智能制造装备产业培育与发展研究报告［M］．北京：科学出版社 . 2015.

[5] 中国机械工程学会．中国机械工程技术路线图［M］．北京：中国科学技术出版社 . 2011.

[6] 雷宗友．高端装备制造产业［M］．上海：上海科学技术文献出版社 . 2014.

[7] 李耀新 . 2015 世界制造业重点行业发展动态［M］．上海：上海科学技术文献出版社 . 2015.

[8] 中国电子信息产业发展研究院．中国装备工业发展蓝皮书 2012［M］．北京：中央文献出版社 . 2012.

[9] 中国工程科技发展战略研究院．中国战略性新兴产业发展报告 2013［M］．北

京：科学出版社.2013.

[10] 朱剑英．智能制造的意义、技术与实现［J］．航空制造技术，2013（Z2）：30－35.

[11] 傅建中．智能制造装备的发展现状与趋势［J］．机电工程，2014，31（8）：959－962.

[12] 何光军．浅议发展智能制造装备产业［J］．广东经济，2014（10）：63－65.

[13] 彭瑜．智能工厂、数字化工厂及中国制造［J］．自动化博览，2015（1）：28－31.

[14] 王华，郭梅．从传统工厂到数字化、智能化工厂［J］．电子世界，2013（20）：205－206.

[15] 荣烈润．面向21世纪的智能制造［J］．机电一体化，2006（4）：6－10

[16] 王影，冷单．我国智能制造装备产业的现存问题及发展思路［J］．经济纵横，2015（1）：72－76.

[17] 张洁，吕佑龙．智能制造的现状与发展趋势［J］．高科技与产业化，2015（3）：42－47.

[18] 工信部：2015年将启动逾30个智能制造试点示范项目［J］．装备制造，2015（4）：20.

[19] 左世全．智能制造的中国特色之路［J］．中国工业评论，2015（4）：48－55.

[20] 苗圩．中国制造2025迈向制造强国之路［J］．国防科技工业，2015（6）：12－15.

[21] 周济．智能制造——“中国制造2025”的主攻方向［J］．中国机械工程，2015，26（17）：2273－2284.

[22] 王德生．世界智能制造装备产业发展动态［J］．竞争情报，2015（4）：51－57.

[23] 孙秋霞．向美国智能制造取经［J］．中国科技奖励，2015（7）：52－53.

[24] 卢秉恒．智能制造：摆脱装备“形似神不似”［J］．中国战略新兴产业，2015（Z2）：54－56.

[25] 国家发改委重大科技装备办．日本加快装备制造业发展的政策和措施［J］．装备制造，2007（3）：31－33.

[26] 杨子杨．“十二五”智能制造装备产业发展思路［J］．中国科技投资，2012（13）：27－32.

[27] 沈雨婷．中德企业制造战略的比较研究［D］．哈尔滨：哈尔滨工业大

学，2007.

[28] 王峰．向美国智能制造业取经［N］．人民邮电报，2014－08－06（6）．

[29] 李远．美国、日本产业政策：比较分析与启示［J］．经济经纬，2006（1）：48－50.

[30] 刘双，李梅，张志远．由中、美、日制造业比较看我国制造业的发展［J］．科技经济市场，2006（10）：189－190.

[31] 国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定（全文）［J］．中国科技产业，2010，10：14－19.

[32]《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》解读［J］．财经界，2011（1）：30－37.

[33] 范剑．“取经”日本智能制造［J］．浙江经济，2013（11）：48－49.

[34] 杨叔子，丁洪．智能制造技术与智能制造系统的发展与研究［J］．中国机械工程，1992（2）：18－21.

[35] 世界智能制造装备产业重点行业领域发展动态（上）［J］．机电一体化，2014（2）：3－8.

[36] 世界智能制造装备产业重点行业领域发展动态（下）［J］．机电一体化，2014（3）：3－8.

[37] 高建中，王战中．智能制造技术与系统的产生与发展［J］．石家庄铁道学院学报，2001（4）：55－58.

[38] 李金华．德国“工业4.0”与“中国制造2025”的比较及启示［J］．中国地质大学学报（社会科学版），2015（5）：71－79.

[39] 杨拴昌．解读智能制造装备“十二五”发展路线图［J］．电器工业，2012（5）：17－19.

第 2 篇

智能制造装备产业重大发展方向与支撑技术

第 5 章　智能机床

5.1　智能机床概述

1952 年，第一台数控机床问世。数控机床诞生后的 60 余年时间里，其向精密化、高速化、多功能复合化、数字化、网络化、智能化方向发展，以满足不同的应用需求。随着技术日趋成熟，数控机床在最近 30 年里得到了大规模的应用。机床技术的发展目标是为整个制造业提供高性能的制造装备，提高加工精度、效率，降低制造成本，为人类提供更多便利。由于人类的分析、推理时间远大于机床对变化工况的反应、控制时间，机床的智能化，即通过传感器监测工况并自主决策成为机床技术研究的重点。

智能机床具有感知、学习、决策、执行等功能，其主要技术特征有：对装备运行状态和环境的实时感知、处理和分析能力；根据装备运行状态变化的自主规划、控制和决策能力；对故障的自诊断自修复能力；对自身性能劣化的主动分析和维护能力；参与网络集成和网络协同的能力。智能机床是先进制造技术、数字控制技术、现代传感技术以及智能技术深度融合的结果，是实现高效、高品质、节能环保和安全可靠生产的下一代制造装备。

机床的智能化发展大致经历了三个阶段：第一阶段是自动化阶段，从手动机床向机、电、液自动化机床发展，实现了无人干预下的自动加工；第二阶段是数字化阶段，传统机床向数控机床、数控加工中心发展，解决了复杂曲面的加工问题，同时增强了机床的工艺能力；第三阶段是智能化阶段，机床拥有更多的传感器，能够感知工况并自主决策，实现高品质、高效率加工。

日本的 Okuma（大隈）公司认为当前经典的数控系统的结构设计、执行和使用三个方面已经过时，对它进行根本性变革的时机已经到来。Okuma 公司开发出 THINC 数控系统，其可在没有人工的干预下对变化了的情况作出“聪明的决策”（smart decision），还可以到了用户工厂后，在应用中不断学习，会变得更加自适应变化了的情况和需求，更加容错，更容易编程和使用。与此同时，日本 Mazak、德国西门子、GE Fanuc 等公司也纷纷推出各自的智能机床或智能数控系统。

目前，制造装备正从“面向过程的人工优化”向“面向任务的自动寻优”

转变。未来的制造装备不再是简单机械地执行预先编制的加工程序，而能根据加工状态实时优化工艺参数，甚至具备任务的自主规划和过程的自动寻优功能。

5.2 智能机床的关键技术与主要功能

5.2.1 智能机床的关键技术

1. 装备运行状态和环境的感知与识别技术

装备运行状态和作业环境的实时感知与识别是智能制造装备的必备功能。新型传感技术和 RFID 识别技术、高速数据传输与处理技术、视觉导航与定位技术等都是智能技术研发的热点。RFID 和传感器结合与集成不仅具有感知与识别功能，还有传输和联网功能。数控机床和机器人的各种感知功能越来越丰富，并组成无线传感网络和嵌入式互联网。

智能机床的感知与识别技术面临如下重大挑战：

1）加工过程复杂、环境恶劣的要求。负载、温度、热变形和应力应变的实时高精测量，零件的高精高效的在线测量，以及装备性能劣化的实时感知等亟需新型传感技术和识别技术的突破。

2）装备的自律控制要求。由于感知对象的多样性和多维性，基于视觉等多源信息的三维环境建模和图像理解能力亟待提升，高速图像识别、运动图像的去抖/去模糊能力有待增强。

3）感知系统组网要求。装备的感知和识别系统具有高精高速数据传输、安全处理和容错能力，异构信息无缝交换能力。

就智能机床而言，其感知与识别技术要到达的主要目标是：

1）新型传感技术。突破高灵敏度、高精度、高可靠性和高环境适应性的传感技术，采用新原理、新材料、新工艺的传感技术，完善微弱传感信号提取与处理技术，光学精密测量与分析仪器仪表。

2）识别技术。低功耗小型化 RFID 制造技术，超高频和微波 RFID 核心模块制造技术和装备，完善基于深度的三维图像识别技术，物体缺陷识别技术。

3）高速实时视觉环境建模、图像理解和多源信息融合导航技术，力/负载实时感知和辨识技术，应力应变在线测量技术，多传感器优化布置和感知系统组网配置技术。

2. 性能预测和智能维护技术

在复杂的制造环境下，性能预测和智能维护是装备可靠运行的关键，为此需

要提高监控的实时性、预测的精确性、控制的稳定性和维护的主动性。面向复杂工况的状态监控技术和装备性能预测技术等是当今制造装备研发的热点，已开发了初级的智能化产品和功能模块，如振动监测模块、刀具磨损/破损监控模块等，其功能和智能水平尚需进一步提高。

智能机床的性能预测和智能维护技术面临如下挑战：

1）监测信号与运行状态间存在复杂的关系，难以实时准确地表征运行状态和加工状态的重要特征。

2）复杂环境中系统整体功能的安全评估技术的研究刚刚起步，寿命预测技术研究仍不成熟。

3）装备性能演化机制的研究刚刚起步，装备性能指标体系尚待完备，其性能指标与制造过程状态特征的映射关系有待深入研究。

性能预测和智能维护技术要到达的目标是：

1）突破在线和远程状态监测和故障诊断的关键技术，建立制造过程状况（如振动、负载、热变形、温度、压力等）的参数表征体系及其与装备性能表征指标的映射关系。

2）研究损伤智能识别、自愈合调控与智能维护技术，完善损伤特征提取方法和实时处理技术，建立表征装备性能、加工状态的最优特征集；最终实现对故障的自诊断自修复。

3）实现重大装备的寿命测试和寿命预测，对可靠性与寿命精确评估。

3. 智能工艺规划和智能编程技术

数控机床的加工工艺规划与数控编程应综合考虑机器结构、工件几何形状、工艺系统的物理特性和作业环境，优化加工参数和运动轨迹，保证加工质量和提高加工效率。而现有编程系统主要是面向零件几何形状的编程，没有综合考虑机床、工装和零件材料的特性等，不能适应加工条件、应力分布、温度变化的不确定性。实现智能工艺规划和智能编程还需要逐步积累专家经验与知识，建立相应的数据库和知识库。

智能工艺规划和智能编程技术面临如下挑战：

1）由于机床的机械结构十分复杂，系统刚度和应力分布对位姿的依赖性，界面行为具有不确定性。机电液的复杂耦合关系造成了复杂的多场耦合问题，要建立精确的全功能和全性能工艺系统模型仍有一定的困难，需借助虚拟现实环境，进行模拟与仿真。

2）构建加工工艺数据库及工艺参数优化专家系统，需要进行大量的实验。实现工艺数据库与工艺系统模型的集成、定性知识与定量知识的融合与推理还面临一定的困难。

3）专家经验与计算机智能的融合技术作为工艺决策的重要基础，有待完善，加工工艺系统的自治配置和自治运行仍比较困难。

智能工艺规划和智能编程技术的预期目标是：

1）深入研究工艺系统的各子系统之间的复杂界面行为和耦合关系，建立工艺系统和作业环境的集成数学模型及其标定方法，实现加工和作业过程的仿真、分析、预测及控制。

2）建立面向典型行业的工艺数据库和工艺知识库，完善机床的模型库，逐步积累专家经验与知识，实现工艺参数和作业任务的多目标优化。

3）完善专家经验与计算智能的融合技术，提升智能规划和工艺决策的能力，建立规划与编程的智能推理和决策的方法，实现基于几何与物理多约束的轨迹规划和数控编程。

4. 智能数控系统与智能伺服驱动技术

数控机床的智能化也反映在数控功能的不断丰富和提升，如视觉伺服功能、力反馈和力／位混合控制功能、振动控制功能、负荷控制功能、质量调控功能、伺服参数和插补参数自调整功能、各种误差补偿功能等。伺服系统 PID 参数的快速优化设置问题、各轴伺服参数的匹配和耦合控制问题尚待进一步解决。

智能数控系统与智能伺服驱动技术面临如下挑战：

1）精度达纳米级，加速度超过 10g 的精密、高速、高加速运动控制技术；视觉伺服、视觉精密定位技术；重载、大惯量条件下的快速动作响应与精度控制技术。

2）切削过程中的切削力、热、振动对加工精度和表面质量的影响机制和刀具的磨损机理较为复杂，难以建立精确预测模型和提出合理的调控策略。

智能数控系统与智能伺服驱动技术的预期目标是：

1）完善智能伺服控制技术、运动轴负载特性的自动识别技术；实现控制参数自动优化配置；实现多轴插补参数自动优化控制；实现各种误差在线精密补偿；实现面向控形和控性的智能加工；基于智能材料和伺服智能控制的振动主动控制技术。

2）完善视觉感知和视觉伺服功能、力反馈和力／位混合控制功能；突破基

于伺服驱动信号的实时防碰撞技术、非结构环境中的视觉引导技术，实现自律加工。

3）运用人工智能与虚拟现实等智能化技术，实现基于虚拟现实环境的智能操作，发展智能化人机交互技术。

5.2.2 智能机床的主要功能

1. 智能执行功能

智能机床在加工过程中，具有集自主检测、智能诊断、自我优化加工行为、远程智能监控为一体的执行能力，总结和分析智能机床的各种执行智能功能需求，具体功能如下：

1）负载自动检测与 NC 代码自动调节功能。

2）主动振动检测与控制功能。

3）刀具智能检测与智能使用功能。

4）工件加工状态与进度提取功能。

5）辅助装置低碳智能控制功能。

6）误差智能补偿功能（含热误差和几何误差补偿）。

7）防碰撞控制功能。

8）在线质量检测与控制功能。

9）自动上下料功能。

10）加工过程能效监测与节能运行功能。

2. 智能准备功能

智能机床在加工任务准备时，应具有在不确定变化环境中自主规划工艺参数、编制加工代码、确定控制逻辑等最佳行为策略能力。

1）数控程序智能编制与优化功能。

2）刀具、夹具及工件智能动态监管功能。

3）工艺参数智能决策与优化功能。

4）基于数控程序虚拟加工功能。

5）节能调度功能。

3. 智能维护功能

智能机床在维护时，具有自主故障检测和智能维修维护以及远程智能维护，同时具有自学习和共享学习的能力。

1）智能故障诊断功能。

2）故障知识自学习与共享学习功能。

3）基于 3D 的故障维修拆卸与组装功能。

4）故障远程维修自修复功能。

5）机床可靠性评估与故障智能预测功能。

4. 网络集成与网络协同功能

从生产过程的全局出发，通过网络化和集成化的方式，具有制造过程相关信息的采集、资源的配置、车间生产组织、过程的管理和功能的协同能力，实现制造过程的网络化和可视化管理。

1）网络通信功能。

2）制造信息采集传输功能。

3）加工过程追踪管理功能。

4）产品质量管理、数据追溯功能。

5）车间制造过程和制造资源的优化运行功能。

6）生产调度和过程管理功能。

7）远程实时监控与诊断功能。

8）制造信息共享和语义集成功能。

5.3 国外智能机床产业发展概述

早在 20 世纪 80 年代，美国就曾提出研究发展“自适应控制”机床，但由于当时自动化水平不高，自动化环节如自动检测、自动调节、自动补偿等技术等工业应用还不成熟，虽然有相关的学者和企业进行了不同的尝试和试验，但智能机床的发展依然很缓慢。经过多年的技术积累，在电加工机床（EDM）上实现了“自适应控制”功能。该电加工机床通过对放电间隙、加工工艺参数进行自动选择和调节，提高机床加工精度、效率和自动化。智能机床的发展逐渐受到重视，美国政府出资并联合部分公司和机床厂商，创建了智能机床启动平台计划（SMPI）。美国国防部累计拨款金额达到 1 000 万美元，参与单位包括美国宇航局（NASA），通用、波音等政府部门和行业领军企业。这个由公司、政府部门和机床厂商组成的联合体加速了智能机床的研究。

2006 年 9 月在 IMTS 展会上，日本展出了 Mazak 公司研发制造的智能机床（Intelligent Machine），该机床是智能机床技术产业化的重要标志。MAZAK 对智

能机床进行了定义：机床能对自己进行监控，可自行分析众多与机床、加工状态、环境有关的信息及其他因素，然后自行采取应对措施来保证最优化的加工。换句话说，MAZAK 认为智能机床能够进化到可发出信息、可自行进行思考。日本 MAZAK 智能机床具有以下六大特色：

1）有主动抑制振动的功能。

2）能自动测量和自动补偿，减少高速主轴、立柱、床身热变形的影响。

3）有自动防止刀具和工件碰撞的功能，能够实现智能安全屏障。

4）有自动补充润滑油和抑制噪声的功能。

5）数控系统具有特殊的人机对话功能，在编程时能在监测画面上显示出刀具轨迹等，进一步提高了切削效率。

6）机床故障能进行远距离诊断。

日本 Okuma（大隈）公司展出了名为“THINC”的智能数字控制系统（Intelligent Numerical Control System）。“THINC”是英文“思想”（think）和“数控”（NC）的结合，表明该数控系统具备与人一样的思想能力。Okuma 认为当前经典的数控系统的设计（结构）、执行和使用三个方面已经过时，对它进行根本性变革的时机已经到来。Okuma 说，THINC 不仅可在不受人的干预下，对变化了的情况作出“聪明的决策”（smart decision），还可使机床在用户使用过程中以增量的方式使其功能在应用中自行不断增长，并会更加自适应新的情况和需求，更加容错，更容易编程和使用。总之，在不受人工干预的情况下，机床将为用户带来更高的生产效率。

GE Fanuc 公司引入了一套监控和分析方案用于名为效率机床 4.0 的智能机床上，它通过收集机床和其他设备复杂的基本数据而提供的富有洞察力的、可指出原因的分析方法。另外它提供一套远程诊断工具，从而使不出现故障的平均时间最长而用于修理的时间最短。它还能用于计算机维护管理系统中监控不同的现场。

辛辛那提公司的多任务加工中心设计的软件是智能机床的典型例子，它可探测到 *B* 旋转轴的不平衡条件。该软件装备了 SINUMERIK 840D 控制系统，新的平衡传感器能够监控 *Z* 轴运转情况，当运转发生错误时，传感器能够准确和迅速地感受到不平衡。在传感器探测到不平衡信号后，由一套平衡辅助程序计算，产生出一张能够确定出不平衡所在位置的显示图，并计算需要进行多少补偿。该技术已成功用于 Giddings&Lewis 的立式车床上。

米克朗系列化的模块（软件和硬件）是该公司在智能机床领域的成果。不同“智能机床”模块的目标是将切削加工过程变得更透明、控制更方便。为此，必须首先建立用户和机床之间的通信。其次，还必须在不同切削加工优化过程中为用户提供工具，以显著改善加工效能。最后，机床必须能独立控制和优化切削过程，从而改善工艺安全性和工件加工质量。米克朗的“高级工艺控制系统（APS）”模块是一套监视系统，它使用户能观察和控制切削加工过程。它是特为高性能和高速切削而开发的，而且能很好地用于其他切削加工系统。“无线通知系统（RNS）”模块开启了通信和灵活性的新纪元。通过这一系统，用户能接收米克朗加工中心的运行情况信息。通过移动电话的短信形式，用户就能知道机床的操作状态和程序执行状态。全球首创、独家拥有的“智能操作人员支持系统（OSS）”能根据工件的结构和加工要求，优化加工过程。通过易用的用户界面，用户可以方便地设定目标尺寸、转速、精度和表面粗糙度以及工件重量和加工的复杂程度等参数并能随时修改。

米克朗 HSM 系列高速铣削加工中心可配置聪明加工系统，其功能之一就是加工过程监控，以便用户观察铣削过程是否正常。其原理是在电主轴壳体中前端轴承附近安装了加速度传感器，使铣削过程中产生的振动能够以加速度“g 载荷”值的形式显示。当振动超过预定值时，系统报警并自动停机。

德马吉森精机的 CELOS 系统改变了传统机床生产加工的方式，简化和加快了从构思到成品的过程，并且还奠定了无纸化生产的基础。直观上 CELOS 最明显的特点是带多点触控功能的统一用户界面。CELOS 应用程序（CELOS APPS）可使用户实现对订单、工艺流程数据和机床数据的一体化数字管理、记录存档和可视化处理。此外，CELOS 还与生产排程系统（PPS）和企业资源计划系统（ERP）兼容，可与计算机辅助设计（CAD）/计算机数控系统（CAM）的应用联网，并有可能扩展成面向未来的 CELOS 应用程序。通过 CELOS 应用程序菜单，操作人员就像使用智能手机一样直接访问所有可用的应用程序。应用程序分为 5 组，分别为生产、设备、技术支持、配置和机床视图，可以进行服务代理、刀具管理、任务规划、在线显示系统的功能，实现将计划与生产统一为一体。

Mazak 公司的“Smooth Technology”（流畅技术）体现了智能机床的最新发展。其数控系统 MAZATROL Smooth 配备 Windows 8 PC 的数控系统以及先进软件，极大地提高了加工效率。通过控制直线轴和转动轴的最佳加速度，使五轴联动加工的效率提高 30%；利用简单调谐功能，可根据加工工件自由调整加速度、

转角精度、平滑度等参数，使之最优化。客户自身可简单方便地进行加工时间优先、加工面精度优先或加工形状优先等个性化选择。此外，还具有“全面工厂经营支持”功能：通过开放的系统结构设计，借助智能手机、平板电脑等外部终端对设备的运转状况进行监控。机床在运行过程中，振动和温升往往是影响加工质量和加工效率的因素。大隈公司的 OSP 系统针对这两个问题开发的智能模块，通过抑制温升保证了加工稳定性；通过选择振动区间，保证了工件精度和表面粗糙度；通过模拟加工条件，避免撞击，保障加工安全的同时大幅缩短停机准备时间。

从国外智能机床的发展状况可知，智能机床已经取得了部分功能和技术上的突破和产业化，然而目前的智能仍然处于“低水平”的智能以及单项技术的应用阶段，智能机床技术的应用与研究也主要集中于少数知名企业。

5.4 我国智能机床产业发展概述

我国已持续十余年列世界机床进口第一位、消费第一位。2012 年，我国机床产品产值达到 273.6 亿美元，占世界机床总产值的近 30%。这是自 2009 年以来，我国机床产品产值连续第 4 年位于世界机床产值首位；产品进口额在世界机床进口总额中的占比为 34.1%，消费额在世界机床消费总额中的占比为 45.1%。2014 年，全球机床消费金额为 753 亿美元，比 2013 年仅增长 0.3%，全球机床生产连续三年下滑，全球机床产值为 812 亿美元，比 2013 年下滑 3.1%，中国数控机床行业也持续承压运行，整体处于下行区间。我国金属加工机床产量同比下降 2%。与此同时，我国对于进口机床的需求不降反升，机床工具进口总额 177.8 亿美元，同比增长 10.8%。经过“十一五”“十二五”两个五年计划，我国数控机床已经进入中档规模产业化、高档小批量生产阶段，产业整体水平基本具备国际竞争力。然而，我国机床出口额为 33 亿美元，占世界机床消费总额不足 5%。近年来，我国机床出口额一直徘徊在机床生产总值的 10% 上下，虽相比以往已经有了明显的提高，但列居世界机床出口前五位的国家（地区）出口额都在机床生产总值的 60% 以上，瑞士更是高达 87%。我国是当今世界机床制造大国，与世界机床强国相比，我国的机床产品在全球机床市场的竞争力依然存在差距，急需在高端机床及智能机床领域实现技术上的创新和突破。

我国自 2009 年开始实施“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项以来，高端机床技术取得了一系列突破，自主创新成果显著。对高档数控机床与基

础制造装备主机、数控系统、功能部件、共性技术等进行了总体布局和任务分解，中央财政投入了几十亿元资金，在航空航天、汽车、船舶、发电设备等领域取得了阶段性成果，相关重大装备和重点产品在实际应用中初见成效，部分技术指标达到国际先进水平，填补了国内空白。在总线、高速高精运动控制和插补、多轴联动等关键技术的研发中取得较明显的突破，并在行业内 13 家重点企业的高档数控机床上进行配套应用。

我国重点高校、机床行业骨干企业已开启从“数字化”向“智能化”过渡的研究步伐。华中科技大学突破国外技术封锁，自主研发了用于加工航空发动机压气机盘的智能双面车床，其主要技术指标达到或超过国外同类产品。武汉重型机床集团公司和华中科技大学联合研制了七轴五联动车铣复合机床，打破了国外技术垄断。华中科技大学联合华工激光工程有限责任公司、神龙汽车有限公司、湖北中航精机科技有限公司、凌云工业股份有限公司等多家企业，潜心技术攻关和市场耕耘，研发了汽车车身激光焊接、不等厚板拼焊、激光非穿透紧密切割等一系列生产线，打破了国外公司的技术垄断，在汽车制造激光加工高端装备生产中实现了国产自主化。沈阳机床、秦川机床公司、济南二机床等企业均在高档数控机床上取得一定进展，开发了一批高速、精密、复合、多轴联动数控机床，以及一批大规格、大吨位数控机床新产品，在大型、超大型机床制造领域成绩显著，满足了军工和国家重点用户的需要。北京一机床的 KA28105 × 300 重型桥式移动铣车复合中心、上海机床厂有限公司的 MKA84250/15000 – H 超重型精密数控轧辊磨床等，均是具有自主知识产权的重型机床。

在精细制造方面，上海机床厂有限公司研制成功的纳米磨床，是处于世界领先水平的创新产品。在复合制造、多轴联动制造以及加工中心方面，沈阳机床、大连机床、北京一机床等目前均成功开发出车铣复合加工中心，但车磨、铣磨、车铣磨为一体的复合金属切削机床还研制不多，应加大投入力度。

在加工中心结构方面，T 型结构、反 T 型结构、箱中箱结构和顶梁运动结构等我国已有所创新，但圆弧凸轮的磨削方面仍未有自主研发的技术。加工中心的床身及立柱材料选择也被广泛关注。多轴联动加工中心是目前使用最为广泛的数控机床，由大连光洋、清华大学、沈阳机床、大连机床、长征机床集团和北京机床研究所等单位联合研制的数控直驱双摆角铣头已取得圆满成功，为国产替代进口迈出了重要的一步。该机床结构设计成立柱倾斜或主轴倾斜，能够有效避免与夹具碰撞，利于排屑，更能增加铣刀与叶片的接触面。上海第四机床厂和西安交

通大学合作研发的四轴联动的 XH7610 卧式加工中心，在回转工作台下加垫斜板，实现叶轮的切削加工。大连科德数控生产的 VGW800 – MT 型五轴立式铣车复合加工中心采用主轴移动模式，具备高达 60m/min、1*g* 加速度的性能指标，相比于传统机床具有更高的材料去除率和加工质量。沈阳机床生产的 TGK46100 高精度数控卧式坐标镗床在加工精度上已达到国际先进水平。

沈阳机床研发的首台具有网络智能功能的“i5”智能机床控制系统，已成功运用于卧式车床、立式车床、立式钻攻中心、立式加工中心和五轴立式加工中心。在机床市场低迷的情况下，沈阳机床 i5 智能机床销量逆势上扬，自 2014 年 2 月产业化以来，实现订货 3 000 余台。“i5”数控系统的技术开发，不仅攻克了数字伺服驱动技术、实时数字总线技术等运动控制领域的核心底层技术，同时融汇了移动互联、大数据中心等技术，使得特征编程、加工仿真、实时监控、智能诊断、远程控制等网络智能制造以及工厂分布式、分级式布局得以实现。“i5”智能机床改变了传统的组织生产模式，它是基于信息驱动技术，以互联网为载体、以给客户提供轻松制造为核心，将人、机、物有效互联的新品类机床。

华中 8 型智能数控系统依托开放式数控系统软硬件技术平台，大数据采集、传输与储存技术平台，云计算、云服务技术平台三个技术平台，利用多个智能模块替代人脑控制数控机床的运行、加工、操作和编程等。智能模块包含：智能管理、智能调试、智能补偿、智能加工、健康保障、网络销售平台及租赁服务等。8 型智能数控系统的运用实现了高速、高精、高效的加工，同时，对于操作者而言，机床也更加好用且易用。

未来的制造将朝着绿色制造和智能制造发展，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中明确将“智能制造”作为未来重点突破的先进制造技术之一。随着科技进步、产品升级以及国家重点工程、地方投资项目的不断推进，国民经济各行业对机床工具产品的需求水平将进一步提高，国防现代化对高水平机床的需求将更为迫切，市场需求将向更高层次发展，新一轮的市场竞争也将更加激烈。智能机床将成为振兴装备制造业的重点之一。

5.5 存在的问题

目前，我国 70% 的高档数控机床、85% 的集成电路芯片制造装备、100% 的光纤制造装备都依赖进口，其中也不乏智能装备的整机进口。关键技术和装备的制造研发能力严重制约着我国由制造大国走向制造强国。发展智能机床产业，必

须掌握其关键技术。与机床制造强国相比较，我国机床产业在规模方面具有相对优势，在结构、水平、研发和服务能力等方面都还存在一定的差距。

1）低端产品产能过剩，高端产品主要依赖进口。进口产品几乎都是高档数控机床（包括成套生产线）。针对高端产品的需求，国产机床长期以来一直存在所供非所需、所需不能供的结构性矛盾。

2）高性能数控系统和功能部件的发展滞后于主机，并已成为制约数控机床产业发展的瓶颈。目前高档数控机床的数控系统和功能部件大多采用进口产品，国内产品在可靠性和精度方面仍有所不足。

3）基础、关键、共性技术尚未完全掌握，以企业为主体，产学研用相结合，开放式、社会化的研发体系建设尚处于探索阶段。产品更新换代较慢，对产品的研发经费投入相对较少。

4）服务型制造能力不足。尤其是重大工程的设计与集成能力较弱，高性能、高可靠性的成套生产线设计、制造、集成还处于起步阶段。

5）产业集中度不高。企业多而散，主机企业大而不强，小而不精；产品配套能力弱，产业分工模糊；智能机床产业链体系还不够完善；产业之间的价格战造成了行业整体的恶性竞争。

6）高端人才匮乏，尤其是缺少智能技术、高端数控机床、数控系统和功能部件研发的复合型领军人才；智能机床融合了多学科的关键技术，高端人才不足已成为制约智能机床产业快速、可持续发展的深层次原因。

5.6 发展重点

1. 增强中高端机床市场的产品供给能力

制造业开始进入高度加工化和技术集约化，中高档机床消费将稳步增长。同时，劳动力供给受限将利好中高档数控机床消费。当前高端产品国内企业供给不足，尚无法满足这些高端用户的要求。中高档尤其是面向高端细分市场的产品供给能力则严重不足，导致高端机床进口量高速增长。亟需通过自主研发、工程化、产业化攻关，形成一支从事基础理论、应用技术及工程化、产业化的研究开发和经营管理的队伍，提高开发和成果转化能力。重点针对航空航天装备、船舶及海洋工程装备、轨道交通设备、汽车、电子信息设备、农业机械等重点产业发展的需要，开发高档数控机床、先进成形装备及成组工艺生产线。

2. 加强核心功能部件研发与制造能力

针对我国智能机床领域的薄弱环节，突破智能数控系统、高性能伺服电机及驱动系统、高性能主轴电机及驱动单元、精密测量与智能传感器等核心功能部件，打破国外垄断。重点开发多轴、多通道、高精度插补、动态补偿和智能化编程，具有自监控、维护、优化、重组等功能的智能型数控系统；提供标准化基础平台，允许开发商、不同软硬件模块介入，具有标准接口、模块化、可移植性、可扩展性及可互换性等功能的开放型数控系统。重点开发 20 000 ~ 40 000 r/min 高速电主轴、多轴联动主轴头、精密光栅、高速高精度主轴轴承、1 ~ 2 级滚珠丝杠导轨、定位精度小于 6″的转台等，研发高性能功能部件精密加工、成形、检测、装配成套装备。

3. 推动组织结构向客户化、服务化、扁平化方向升级

从组织生产角度看，需要改变传统的生产方式，由以往的大规模统一生产转变为“规模化定制”，组织结构扁平化，制造过程服务化。未来我国机床市场的组织结构升级将向客户化、服务化、扁平化方向发展。用户将参与机床产品的制造过程，用户要求最多的产品将直接进行研发，完成从个性化到规模化的过程，以客户订单为基础，实现更智能化的后拉式生产。机床厂不仅销售机床，而且提供设计及建设整条生产线的解决方案，提供个性化服务支持。另外通过互联网技术实现数字化加工和网络化协同，利用数据驱动和管理生产，减少中间环节。

5.7 发展趋势

1. 智能感知

装备运行特征和作业环境的实时感知与识别是智能制造装备的必备功能。新型的传感技术和 RFID 识别技术、高速数据传输与处理技术、视觉测量/视觉导航与定位技术等都是智能技术研发的热点。智能机床不仅要具备感知与识别功能，还需有数据传输和联网功能，为用户提供深度个性化服务。

2. 自主学习与决策

借助先进传感与信息技术，智能机床能够对工况信息在线辨识，并结合工艺知识数据库、企业产品设计、生产过程、车间管理、客户服务信息等进行机器学习、数据挖掘以提炼知识并升华为智能决策。

3. 自律执行

机床的智能化最终要体现在执行系统上，智能数控、智能主轴、智能伺服电机、视觉伺服、视觉精密定位、多轴插补参数自优化控制、基于智能材料的主动振动控制、力/位混合控制、负荷控制等均需进一步解决。

5.8 发展对策

1. 加强基础研究

互联网技术、信息通信技术以及大数据分析技术等是未来智能机床的基础，要加快对先进制造业创新基础研究等方面的投入，鼓励民间机构（包括大型公司、研究型大学和非营利机构的行业协会）在本土投资。借鉴德国先进制造业创新中心模式和美国“产业公地”建设等经验，制定先进制造业创新中心计划，完善产业集群创新政策，给制造商提供足够的激励，有效应对初始创新遇到的市场失灵，让更多合作投资的制造商（尤其是中小企业）共享技术资源和有形基础设施。这些共同的技术资源和有形基础设施是单一制造商所无法独自完成的，将影响中小企业对先进制造业创新的投入，有助于制造商充分利用“产业公地”的资产，以加速产业集群创新，加快后续市场渗透。

2. 制定标准，约定协议

“工业 4.0”到目前为止还只是一幅制造业发展蓝图，为了顺利实现向“工业 4.0”的转化，实现生产和服务模式之间的无缝整合，使不同的产品可以方便地互联，应该加快推进规则框架和标准化接口的国际化建设，借助互联网技术，加强国内标准化的工作。制定过程不仅要遵循一定的共同标准和协议，而且还要实现标准和协议的国际化，使我国建立的标准和协议得到国际上的支持和认可。在共同适用的行业规范标准下，产品零件的生产制造都能遵循该标准，生产的物品将具有很好的通用性，就如同家用计算机配件市场上的通用产品一般，能够方便地兼容于不同的计算机。同时，为每个物品配置一个可识别身份的电子标签，利用物联网技术，使物品与互联网连接起来，实现资源、信息、物品和人的互联，造就智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的物物相联的物联网服务，产品互联互通的特征也能够得以实现。

3. “产学研用”结合

实现“产学研用”协同，以平台为支撑、以企业为主体，实施创新驱动战

略，完善协同创新平台。合理规划科技布局，形成功能强大的协同创新平台体系。产学研联盟已经不是解决创新技术的来源问题，而是帮助推进技术成果转化和产业化的全过程，这些产学研基地已经成为高新技术转化和产业化的孵化器。科学工作者拥有良好的研发条件，企业也将得到优先转让和产业化的利益，实现“双赢”。相比于简单的项目合作，产学研联盟更能够从整体上全面推进机床工具行业的发展进步，更能够体现“聚变”作用。另一方面，抓紧建设规范化的产学研联盟规则，解决合作中面临的知识产权的权益分配和归属问题。

4. 采取财税激励政策

国外厂商针对国内市场制定了新策略，利用其技术储备优势和较高毛利率，推出价格适当下浮但是技术含量高于国内厂商的新产品系列，以此争夺国内的中高端市场，在一定程度上影响了我国中高端机床市场的成长壮大。对于促进机床产业发展来说，财税政策更是最直接、效果最明显的政策工具。采取财税政策支持技术创新和新兴产业发展，是世界各国的普遍做法，也是发达国家的成功经验。加强现有政策的整合和统筹，减少交叉、重复和空缺，形成较为一致完整的机床产业财税政策。从直接优惠为主转向直接优惠与间接优惠并重，减少一次性现行拨款，加大后期补助力度和实施以奖代补政策。应使税率优惠与税基优惠并重来给予支持，强调间接优惠。政府不能代替市场，也不能包办一切，在市场机制能够发挥指导的地方，政府应不进行干预或者少干预，政府和市场应发挥各自的作用且相互协调。政府的财政支出方面应从支持企业、行业发展转向支持基础性研究和核心关键技术研发，优惠对象从特定企业转向需要支持的项目和业务，提高产业整体技术水平。企业自身如何发展壮大、如何走向规模扩张则由市场起主导作用。

参考文献

[1] 鄢萍，阎春平，刘飞，等．智能机床发展现状与技术体系框架［J］．机械工程学报，2013（21）：1－10.

[2] 汪淑珍，贾辉．数控机床的发展状况与应对政策［J］．重庆文理学院学报（自然科学版），2012（1）：94－97.

[3] 单以才，李一民，刘世豪，等．智能机床的研究现状与发展趋势［J］．工具技术，2009（9）：3－6.

[4] 中国机床工具工业协会．2012 年我国机床工具行业外贸总体情况［J］．世界制

造技术与装备市场，2013（3）：81－85.
[5] 中国机床工具工业协会．2012年我国机床工具行业经济运行情况分析及2013年展望［N］．机电商报，2013－04－22（A02）．
[6] 中国机床工具工业协会．2014年中国机床工具行业运行市场分析［N］．机电商报，2015－03－09（A08）．
[7] 张红林．沈阳机床：跨界融合 打造中国“智”造业航母［N］．机电商报，2015－05－18（A08）．
[8] 中国机床工具工业协会.2014年度机床工具行业十大新闻［J］．航空制造技术，2014（Z2）：26－29.
[9] 王影，冷单．我国智能制造装备产业的现存问题及发展思路［J］．经济纵横，2015（1）：72－76.
[10] 卢秉恒．智能制造：摆脱装备“形似神不似”［J］．中国战略新兴产业，2015（Z2）：54－56.
[11] 李淑梅．沈阳机床“i5系列智能机床”全球首发［J］．机械制造，2014（4）：77.
[12] 毛予锋．中国机床产业的现状与发展趋势［J］．世界制造技术与装备市场，2010（6）：27－30.
[13] 中国机械工程学会．中国机械工程技术路线图［M］．北京：中国科学技术出版社.2011.

第6章　工业机器人

6.1　工业机器人概述

20世纪中期，随着计算机技术、自动化技术、机械工程技术的发展，美国率先开始了工业机器人的研发工作，并将工业机器人成功运用于工业生产，奠定了工业机器人的发展基础。工业机器人的出现，是传统机构学与近代电子技术相结合的产物，如今，工业机器人已融入了多学科的前沿技术，综合了计算机科学技术、机械工程技术、电子工程技术、传感技术、控制理论、人工智能、仿生学等多学科而形成的高新技术，是当代备受关注的研究开发领域，对国民经济发展有着举足轻重的作用。

工业机器人主要包含面向工业领域的多自由度串联机器人、多自由度并联机器人、多自由度串－并联机器人、多指机械手、无人自动小车（AGV）等，是自动执行工作的机器装置，靠自身动力和控制能力来实现各种功能。工业机器人能够接受和理解人类的指令，并按照设定的程序执行运动和作业功能。工业机器人的典型应用包括喷涂、焊接、磨削、搬运、装配、产品检测等，不同种类的工业机器人现已在各行各业得到了不同程度的应用。

工业机器人主要由机器人本体、控制器、伺服驱动器、传感器等部件构成，依据事先编制的程序完成特定的动作。工业机器人具有如下主要特点：

1）可编程。工业机器人依据事先编制的程序完成特定的动作，当工作环境或工作任务改变后，可以重新编制程序，从而使机器人在新的环境中执行新的动作，完成新的作业任务。

2）通用性。由于工业机器人的多关节（或自由度）特性和可编程特性，工业机器人可以执行不同的作业任务，具有较好的通用性。

3）自主性。工业机器人上布置有多种传感器，机器人能根据这些传感器检测到的环境与工作状态信息自主控制执行机构，完成相应作业任务。

随着科学和技术的不断发展，工业机器人也经历了三个主要发展阶段。

第一代机器人为示教再现机器人，主要由机器人本体、运动控制器和示教盒组成。操作者通过示教盒控制机器人运动，完成特定作业任务，机器人同时记录、保存机器人的运动信息。示教结束后，机器人根据保存的信息自动重复刚才的示教运动。该类机器人操作比较简单，通常完成点到点的运动、简单的直线和圆弧运动。

第二代机器人为离线编程机器人。首先建立机器人的运动学模型，求解机器人运动学模型的正反解，在离线情况下进行路径规划、生成机器人控制代码。其次建立机器人及其工作环境的三维实体模型，由生成机器人控制代码控制机器人三维实体模型进行仿真运动，检验程序的正确性。最后将正确的控制代码传递给机器人控制器，控制机器人运动。

第三代是智能机器人，它除了具有第一代和第二代的特点以外还带有各种传感器，该类机器人对外界环境不但具有感觉能力，而且具有独立判断、记忆、推理和决策的能力，能适应外部对象、环境协调地工作，能完成更加复杂的动作。在工作时通过传感器获得外部的信息，并进行信息反馈，然后灵活调整工作状态，保证在适应环境的情况下完成工作。

当前，工业机器人已经成为一种标准设备而在工业自动化行业广泛应用，由此也形成了一批具有国际影响力的工业机器人公司，如安川、OTC、松下、Fanuc、不二越、川崎、KUKA、CLOOS、ABB、COMAU 及 IGM 公司。

随着工业机器人技术的不断成熟与完善，机器人的应用已从传统制造业推广到其他行业，如采矿、建筑、农业、灾难救援等。此外，在国防军事、医疗卫生、生活服务等领域机器人的应用也越来越多，如无人侦察机（飞行器）、警备机器人、医疗机器人、家用服务机器人等均有应用实例。机器人正在为提高人类的生活质量发挥着越来越重要的作用，已经成为世界各国抢占的高科技制高点。

国内外经济环境的变化倒逼产业转型升级，制造业向高端发展是必经之路。为了更好地适应市场经济的发展，需要利用机器人技术提升工业发展水平，完成从制造业大国向制造业强国的转变。随着产品性能提升的内在需求增加和劳动力价格上涨，产业转型升级的压力不断加大。工业机器人作为智能制造领域的代表，在产业转型升级的过程中正发挥着越来越重要的作用，工业机器人技术的发展水平也成为一个国家工业自动化水平的重要标志。

6.2 工业机器人核心关键技术

6.2.1 工业机器人环境感知与传感技术

传感器是机器人必不可少的重要组成部分，机器人传感器可以分为内部传感器和外部传感器。内部传感器监测机器人的自身运行状态，如驱动电机的电流、电压、力矩，关节运动位移、速度等。外部传感器监测机器人的运行环境，如机器人的工作空间是否有其他物体，这些物体的现状、大小、位置、姿态、运动信息等。机器人传感器也可根据检测的物理量进行分类，如力传感器、力矩传感器、触觉传感器、距离传感器、接近传感器和视觉传感器等。

机器人智能功能的重要体现之一是能根据传感器检测的信息自主决策、自律运行。例如，当机器人按预定编程轨迹运行时，如果运动轨迹中有其他物体，则机器人可以自动避开该物体，到达指定位置。

目前，工业机器人环境感知与传感技术需要攻克的关键技术包括：高速视觉感知和视觉伺服技术，力反馈和力 / 位混合控制技术，实时防碰撞技术，非结构环境中的视觉导航技术等。

6.2.2 工业机器人轨迹规划与自动编程技术

机器人轨迹规划属于机器人底层规划，所有控制的目的都在于精确实现所规

划的运动。所谓轨迹，是指机械手在运动过程中的位移、速度和加速度。轨迹规划是在机器人运动学的基础上，讨论在关节空间和笛卡尔空间中机器人运动的轨迹规划和轨迹生成方法，确定轨迹参数并实时计算和生成运动轨迹。关键技术包括：关节轨迹插值技术、笛卡尔空间规划技术、在线轨迹规划技术等。机器人自动编程技术是利用计算机图形学，建立机器人作业环境以及模型，对机器人所要完成的任务进行自动规划与编程，从而可以脱离机器人工作现场进行编程的系统，关键技术包括：快速编程与智能示教技术、离线编程与仿真技术等。

6.2.3 工业机器人控制系统技术

机器人控制系统是机器人的大脑，是决定机器人功能和性能的主要因素。工业机器人控制技术的主要任务是控制工业机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹、操作顺序及动作的时间等。关键技术涉及：具备实时操作系统和高速总线的工业机器人开放式控制系统技术、基于模块化的机器人分布式控制系统技术、机器人本体柔顺性控制技术、网络化机器人控制器技术、多机器人网络化/集群协调控制技术等。

6.2.4 工业机器人人机交互技术

技术的发展无法更改人类作为生产实践的主体，因此，未来的工业机器人更加强调人机合作，更为人性化的人机交互技术将成为智能机器人研究的重要内容。全浸入式图形化显示技术，三维全息环境建模技术，增强现实和虚拟现实技术，以及具有力、温度、振动等多物理作用效应的人机交互技术是未来重要的发展方向。为了达到工业机器人与人类生活、工作环境以及人类自身和谐共处的目标，还需要解决的关键问题包括：人体运动意图控制、人机协调力控制技术、人机安全保障技术、人机自然交互技术、机器人自主学习人类技能技术、机器人认识与学习等智能控制技术等。

6.2.5 工业机器人自主导航技术

机器人系统能够通过传感器感知外界环境和自身状态，实现在有障碍物环境中面向目标的自主运动，从而完成一定的作业功能。其本身能够认识工作环境和工作对象，能够根据人给予的指令和“自身”认识外界来独立地工作，能够利用操作机构和移动机构完成复杂的操作任务。机器人在作业环境中自主行动，首先需具有多种感知功能，进而进行复杂的逻辑推理、规划和决策解决其在导航系统中的定位、跟踪以及路径规划问题。主要关键技术包括：非结构环境下的移动作业机器人导航/定位技术、动态不确定环境下机器人操作定位误差补偿技术、

视觉识别/定位及应用技术等。

6.3 国外工业机器人产业发展概述

在全球范围内，工业机器人正处于蓬勃发展阶段，工业机器人产业的发展和推广应用具有广阔的前景和难得的历史发展机遇。根据国际机器人联合会（IFR）统计，2002 年至 2004 年，世界工业机器人市场前景看好，年增长率平均在 10% 左右。2005 年增长率达到创纪录的 30%，其中亚洲工业机器人增长幅度最为突出，高达 45%。受到国际金融危机的影响，2009 年工业机器人市场比 2008 年下降了 0.5%。2010 年，全世界新安装的工业机器人数量逐步接近 2005—2008 年的高峰期，共供应了 115 000 台工业机器人，机器人制造商的营业额总计 20 亿欧元，同比增长 24%。到 2013 年，全球机器人销售量达到 17.81 万台，比 2012 年增长 12%。全球工业机器人的销售产值超过 85 亿美元。如果包括软件、外围设备和系统工程的成本，实际的工业机器人销售总额将超过 255 亿美元。2014 年，全球工业机器人销售量达到 22.5 万台，同比增长 26.3%，其中主要的增长来自亚洲。增长的主要动力来源于汽车行业需求的稳定增加。据麦肯锡预计，到 2025 年，5% ~15% 的制造业工人将被工业机器人取代，全球工业机器人保有量将达到 1 500 万 ~2 500 万台，年均增速为 25% ~30%，工业机器人将产生 0.6 万亿美元到 1.2 万亿美元的经济影响。随着亚洲地区制造业的发展，各项产业对于工业机器人的需求量增加，使得工业机器人市场需求逐渐由欧美地区转移到亚洲地区，中国将成为最大的工业机器人需求市场。

全球机器人产业在保持着良好增长势头的同时，随着电子产品及新兴产业不断增长的需求，以及自动化生产的需要，工业机器人在下游行业的应用主要集中在汽车、电子电气、橡胶塑料、金属和机械领域。其中，汽车领域应用最广，占工业机器人应用总数的 39.0%；其次是电子电气领域，占比 20.3%；食品饮料和药品化妆品领域相对较少，占比分别为 3.5% 和 1.1%。在服务型机器人方面，美国制造业巨头弗里多尼亚集团的全新调研表明，服务型机器人的需求量已经超过了工业机器人。全球对服务型机器人的需求量将以平均每年 11% 的速度增长。2014—2016 年估计会有 2 200 万个人及家用机器人得到销售，其市场规模达到 2 500亿元。其中：家用机器人销量估计为 1 550 万台，销售额达 360 亿元；娱乐机器人约为 350 万台；教育类机器人约 300 万台；残障辅助机器人约为 6 400 台。随着相互学习与共享知识云机器人技术获得重大突破，小型家庭用辅助机器人大

幅度降低生产成本，将在2020年之前形成至少累计416亿美元的新兴市场。另一方面，虽然残障辅助机器人起步较慢，但可预测未来20年会有高速增长。到2016年，服务型机器人的需求量可能会翻两番。

在发达国家中，机器人化的自动化生产线成套装备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电气行业、工程机械等行业已大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量和生产的高效率。目前，典型的成套装备有大型轿车壳体冲压自动化系统技术和成套装备、大型机器人车体焊装自动化系统技术和成套装备、电子电气等机器人柔性自动化装配及检测成套技术和装备、机器人发动机、变速箱装配自动化系统技术成套装备以及板材激光拼焊成套装备等。这些机器人自动化成套装备的使用，大大推动了相关行业的快速发展，提升了行业的制造技术水平。

纵观世界各国工业机器人产业发展过程，发达国家在发展机器人的过程中存在以下三种模式。

1. 美国模式：整体研发设计与对外采购机器人本体相结合，重在系统开发与应用

美国是机器人的诞生地，早在1962年就研制出世界上第一台工业机器人。美国是世界上机器人强国之一，基础雄厚、技术先进。美国工业机器人的发展是在自由市场经济条件下的自然生长过程，相较于日韩等国，政府影响较小。据美国机器人工业协会（RIA）最新统计，受制造企业强劲需求驱动，北美的机器人行业在2014年进入最快增长期，上半年获得14 135台机器人的订货，价值7.88亿美元，订货数量比2013年同期增长30%，销售收入增长16%。其中汽车工业是对2014年第二季度机器人销售贡献最大的行业，订购量比2013年同期增长了97%。非汽车行业如半导体、生命科学、食品与日常消费品行业，2014年上半年的机器人订货额比2013年同期增长了22%。但是最强劲的增长还是来自汽车制造相关行业。来自汽车及配件制造企业的机器人订货数量在2014年上半年比2013年同期增长了36%。据美国机器人工业协会估算，在美国的工厂里大约有23万个机器人正在使用。

美国Adept Technology是1983年成立的全球智能视觉机器人系统服务商。Adept Technology的智能自动化产品线包括工业机器人、针对机器人的机械控制和其他灵活的自动化设备、机器视觉系统和应用软件。Adept机器人为包装生产线、生命科学研究、磁盘驱动器制造、电子器件生产以及传统的工业制造企业提

供专业的、高性价比的系统与服务。超过 55 000 台不同功能的 Adept 机器人被安装在了世界各地。

美国 Rethink Robotics 公司推出了一款被称为“具有常识”的“百特”（Baxter）机器人。该款机器人不仅造价是目前其他工业机器人的一半，并且它不需要专门的机器人专家或者繁琐的客户端程序使其完成生产任务。Rethink Robotics 公司表示，工厂内普通的工人就可以教会“百特”如何工作，而且需要的时间不会超过 1 小时。

美国 American Robot 是工业机器人控制器、工业机器人和自动化系统的生产商。过去的 20 多年里，American Robot 在工业机器人市场上的定位是提供实用性的军事和航空航天解决方案，现在仍专注于机器人控制、校准、机械手技术的创新，不断扩大其产品线。公司的产品线主要包括三个方面：通用机器人控制器、Merlin 六轴多关节机器人和 Gantry3000 模块机器人。

美国 ST Robotics 是美国一家工业机器人企业，提供专业但价格实惠的、易于使用、方便装箱携带的机器人。ST Robotics 机械手简单、友好、高效、低成本、更坚固耐用，能更广泛地应用于工业建设，能很容易地适用于从“机械送料”到“实验室样品处理”等各种工作。

美国谷歌收购的机器人工程技术厂商 Boston Dynamics 制造的名为“Atlas”的机器人，它可以实时感知真实世界中周围环境状况，并进行相应的动作。Atlas 拥有两个“立体接近相机”（stereo proximity cameras）和一个位于头部的相机，可通过头部激光障碍识别系统（LIDAR）来显示周围环境状态。该系统能够向周边环境发射多束激光，然后根据激光的反馈数据进行分析，得出周边环境的全景图像，并以此做出移动路线和行动方案，从而完成分辨目标物体、接近目标以及捡起目标物体等复杂任务。

美国宾夕法尼亚大学开发的远端临场机器人 DORA，将虚拟现实头盔与替身机器人相连，能让操作者仿佛置身于机器人所在的环境，形成置身于另一个现实的沉浸式感觉。Oculus Rift 头戴式设备中的传感器实时感知操作者的头部的运动，虚拟现实系统以感觉不到的高帧频来更新图像，辅以视觉和听觉的刺激，加强操作者对现实的感知，通过机器人的操作臂来实现与环境的交互。

由于美国一度认为制造业是“夕阳产业”，对制造业重视不够，影响了其工业机器人的发展，因此目前美国每万人拥有机器人的密度低于日本、韩国和德国。随着美国重启制造业回归计划，美国工业机器人的使用量将大幅增加。此

外，美国在智能机器人技术研究领域仍然处于领先地位。

2. 日本模式：产业链整体推进，以机器人本体、关键零部件研发和生产为核心，提供从关键零部件、机器人整机到机器人自动化生产线的全产业链服务

日本的工业机器人起步晚于美国五六年，在经历了 20 世纪 60 年代摇篮期、20 世纪 70 年代实用期后，20 世纪 80 年代跨入普及提高并广泛应用期。经过短短的时间，日本工业机器人产业已迅速发展起来，一跃成为“工业机器人王国”。

日本的工业机器人保有量一直远远超过其他国家，尤其在 1985—1995 年期间增长非常迅速。目前，日本工业机器人的保有量约占世界工业机器人的 60%。仅以 2005 年计，当年全球工业机器人市场规模为 4 545 亿日元，而日本工业机器人的市场规模达就达 1 669 亿日元，亚洲（日本除外）则为 1 150 亿日元。

日本不仅是工业机器人保有量的第一大国，而且也是工业机器人的生产、出口大国。2012 年，日本机器人产值约为 3 400 亿日元（约合人民币 175 亿元），占据全球市场份额的 50%，安装数量（存量）约 30 万台，占全球市场份额的 23%。

日本还是工业机器人关键零部件的主要供应国，包括机器人精密减速机、伺服电机、重力传感器等全球 90% 以上的市场份额被日本占据。日本在机器人生产、应用及主要零部件供给、研究等各方面位居世界前列。

2015 年 1 月 23 日，日本政府对外公布了“机器人新战略”，决定未来 5 年将重点发展机器人产业。为实现这一战略，日本政府将在财政、税收、教育和法律等方面予以扶植。

作为工业机器人生产、使用、保有量大国，日本还拥有世界最大的机器人公司——日本安川电机公司。安川公司 1977 年研制出第一台全电动工业机器人。旗下拥有 Motoman 美国、瑞典、德国以及 Synetics Solutions 美国公司等子公司。其核心的工业机器人产品包括：点焊和弧焊机器人、油漆和处理机器人、LCD 玻璃板传输机器人以及半导体晶片传输机器人等。安川电机公司是将工业机器人应用到半导体生产领域最早的厂商之一。

日本发那科（Fanuc）公司的前身致力于数控设备和伺服系统的研制和生产。1972 年，从日本富士通公司的计算机控制部门独立出来，成立了 Fanuc 公司。Fanuc 公司两大主要业务包括工业机器人和工厂自动化。其开发的工业机器人产品有：

1）R－2000iA 系列多功能智能机器人。具有独特的视觉和压力传感器功能，可以将随意堆放的工件捡起，并完成装配。

2）Y44CCLDiA 高功率 LD YAG 激光机器人。拥有 4.4kW LD YAG 激光振荡器，具有更高的效率和可靠性。

3. 德国及欧洲模式：一揽子“交钥匙工程”，即机器人本体的生产和用户所需要的系统设计制造全由一家机器人厂商完成

德国工业机器人的总数占世界第三位，仅次于日本和美国，德国工业机器人的研究和应用在世界上处于领先地位。在普及第一代工业机器人的基础上，第二代工业机器人经推广应用成为主流安装机型，第三代智能机器人已占有一定比重。目前，国际上具有影响力的、著名的欧洲系工业机器人中有德国 KUKA、CLOOS、瑞典 ABB、意大利的 COMAU 及奥地利的 IGM 公司。

德国库卡（KUKA）机器人公司是世界几家顶级工业机器人制造商之一。1973 年研制开发了 KUKA 的第一台工业机器人。该公司工业机器人年产量约 1 万台。所生产的机器人广泛应用在仪器、汽车、航天、食品、制药、医学、铸造、塑料等工业上。主要用于材料处理、机床上下料、零件装配、产品包装、堆垛、焊接、表面修整等领域。2007 年，库卡 TITAN 成为当时最强大的六轴工业机器人，被计入吉尼斯纪录；2010 年，KRQUANTEC 系列工业机器人突破了当时机器人的承载范围，承载能力达到 300kg，工作范围达到 3 100mm；2012 年，最新小型机器人系列 KRAGILUS 上市；2014 年，库卡推出适用于食品工业超抗寒机器人。

德国克鲁斯（CLOOS）公司现已经可以生产具有高度柔性、精度及多种编程功能的、可扩展到十二轴的机器人单元。克鲁斯公司在机器人焊接领域具有鲜明特色，提供的机器人系统包括：机器人、机器人控制器、焊接设备以及周边设备，如定位器、工具及防护装置、主控制器及传感器等。CLOOS 于 2002 年成功开发出了世界第一台变极性 MIG/MAG 焊机 GLC353QUINTOCP，解决了各类薄板焊接这一难题。CLOOS 公司在全球范围内已销售 4 000 多台焊接机器人系统，应用于机械工程、汽车、航天等各个领域。

瑞典 ABB 公司是世界上最大的机器人制造公司之一。1974 年，ABB 公司研发了全球第一台全电控式工业机器人 IRB6，主要应用于工件的取放和物料的搬运。1975 年，生产出第一台焊接机器人。到 1980 年兼并 Trallfa 喷漆机器人公司后，机器人产品趋于完备。ABB 公司制造的工业机器人广泛应用在焊接、装配、

铸造、密封涂胶、材料处理、包装、涂装、水切割等领域。

意大利柯马（COMAU）公司从1978年开始研制和生产工业机器人。其机器人产品包括SMART系列多功能机器人和MAST系列龙门焊接机器人，广泛用于汽车制造、铸造、家具、食品、化工、航天、印刷等行业。柯马最新一代SMART系列机器人是针对点焊、弧焊、搬运、压机自动连线、铸造、涂胶、组装和切割的SMART自动化应用方案的技术核心。其“中空腕”机器人NJ4在点焊领域更是具有无以伦比的技术优势。

6.4 我国工业机器人产业发展概述

我国的工业机器人从20世纪80年代“七五”科技攻关开始起步，在国家科技攻关项目的支持下，经过十几年的研制、生产和应用，我国机器人产业实现了从无到有、从低到高的跨越。近几年，我国工业机器人及含工业机器人的自动化生产线相关产品的年产销额已突破10亿元。“十五”期间，工业机器人的需求量呈爆炸式的增长，需求量每年以15%～20%的速度增长。如今，国内市场年需求量在3 000台左右，年销售额在20亿元以上。统计数据显示，我国市场上工业机器人总共拥有量近万台，占全球总量的0.56%，其中国产工业机器人产业集中度占30%左右，其余都是从日本、美国、瑞典、德国、意大利等20多个国家引进的。据IFR统计数据显示，2014年我国工业机器人产量12 050台，同比增长26.2%，而2012—2014年的复合增长率则高达44.6%。销售工业机器人5.5万台，其中国产机器人1.6万台，占据了28%的市场份额，虽然市场份额依旧较小，但可以看到国产机器人市场份额较以往有了很大的进步。预计我国工业机器人需求年增长达到25%以上，到2017年市场销量将达到10万台，工业机器人保有量将超过40万台。

我国工业机器人已广泛服务于国民经济25个行业大类、52个行业，涉及诸多制造业领域。从产品结构看，坐标机器人和多关节机器人销售位居前两位，分别占总销量的35%和31%。从应用领域看，搬运上下料机器人销量占总销量的45%，位居第一位；焊接机器人销量占比为26%，位居第二位。从应用行业看，国产工业机器人主要应用于国民经济48个中类行业之中，其中计算机制造业、汽车零部件及配件制造业、输配电及控制设备制造业应用较为集中，共计占销售总量的45%。我国机器人正在不断崛起。业内有专家预测，到2016年，我国有可能成为世界最大的工业机器人市场。

我国工业机器人产业发展具备较强的政策优势，在制造业转型和升级过程中，政府扶持的力度不断加大，我国工业机器人的产业环境不断完善，行业呈现蓬勃发展的态势，业内领军企业的产业化能力不断提升，与此同时，越来越多的新企业也积极投身于机器人产业当中。国家出台了一系列支持机器人产业发展的政策，如在《“十二五”国际战略新兴产业发展规划》《高端装备制造业“十二五”发展规划》《智能制造科技发展“十二五”专项规划》中指出，要大力推进工业机器人及关键基础零部件的技术突破和产业化；由中国机械工业联合会牵头成立“中国机器人产业联盟”，以推动我国机器人的产学研用，加速机器人技术与产品在各行业中的普及应用；2014 年 1 月，工信部发布了《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》，明确提出了我国工业机器人的发展目标，即开发满足用户需求的工业机器人系统集成技术、主机设计技术及关键零部件制造技术，突破一批核心技术和关键零部件，提升量大面广主流产品的可靠性和稳定性指标，在重要工业制造领域推进工业机器人的规模化示范应用。据工信部工业装备司规划，到 2020 年我国将形成较为完善的工业机器人产业体系，培育 3 ~ 5 家具有国际竞争力的龙头企业和 8 ~ 10 个配套产业集群，工业机器人行业和企业的技术创新能力和国际竞争能力明显增强，高端产品市场占有率提高到 45% 以上，机器人密度达到 100 以上（机器人密度是指平均每万名工人对应的机器人保有量）。这些政策主要集中在工业机器人的研发布局、核心零部件突破、应用引导等方面，注重产业本土化和全产业链布局，为本土机器人企业的脱颖而出提供了良好的环境。同时，各地政府纷纷开展机器人产业园规划和建设。目前，分布在国家高新区的机器人产业园已超过 30 家。

在国家和地方政策的引导下，全国各地纷纷启动机器人项目。据不完全统计，全国已建和在建的工业机器人产业园近 40 家，相当于平均每个省有超过一家工业机器人产业园，而更多的园区还在筹备中。目前已将沈阳新松机器人自动化股份有限公司、哈尔滨博实自动化设备有限责任公司、一汽集团涂装技术开发中心、北京机械工业自动化所、四川绵阳网维焊接自动化设备有限公司等确立为智能机器人主题产业化基地。大连组合机床所、上海富安工厂自动化公司、东风汽车公司、昆明船舶公司、哈尔滨焊接研究所、安川北科公司等企业，也都凭借自己开发生产的特色机器人或应用工程项目活跃在当今国内工业机器人市场上。此外，一些科研院所和大学也均在进行机器人技术及应用项目方面的研发工作。如中科院沈阳自动化研究所、哈尔滨工业大学、华中科技大学、北京航空航天大

学、上海交通大学和清华大学等。

据 OFweek 行业研究中心数据统计，截至 2015 年 3 月国内机器人企业分布如下：广东 221 家，居首位；其次是浙江 138 家；接着依次是江苏 108 家、山东 85 家、上海 84 家、北京 58 家、安徽 45 家、辽宁 45 家、重庆 31 家。可见国内机器人企业发展非常不平衡，多集中在工业经济发达地区且发展迅速。以东莞为例，在 2012 年前，机器人企业没有几家，2012 年后机器人企业开始慢慢增加，2014 年甚至新增了 53 家，是历年来增加数量最多的一年。截至 2015 年 1 月，东莞共有机器人企业 108 家。其中，注册资本在 1 000 万元以上的占总数的 18%，100 万 ~1 000 万元之间的占 32%，剩余的 50% 则在 100 万元以下。这一数据显示，我国的机器人企业主要以中小型企业为主。国内较大的工业机器人企业主要有：

首钢莫托曼机器人有限公司。该公司由中国首钢总公司、日本株式会社安川电机和日本岩谷产业株式会社共同投资组建。引进日本安川电机最新 UP 系列机器人生产技术生产“SG – MOTOMAN”机器人，并设计制造应用于汽车、摩托车、工程机械、化工等行业的焊接、涂装、装配、研磨、切割和搬运等领域的机器人、机器人工作站等，是目前我国主要的机器人生产基地。

沈阳新松机器人自动化股份有限公司。该公司是由中国科学院沈阳自动化所为主发起人投资组建的高技术公司，是“机器人国家工程研究中心”“国家‘863’计划智能机器人主题产业化基地”“国家高技术研究发展计划成果产业化基地”和“国家高技术研究发展计划成果产业化基地”。该公司产品包括：RH6 弧焊机器人、RDl20 点焊机器人及水切割、激光加工、排险、浇注等工业机器人及特种机器人。沈阳新松 2013 年完成产值 13. 2 亿元，产能约 2 000 台。其中工业机器人 4. 1 亿元、物流仓储成套设备 4. 1 亿元、自动化装备与监测生产线 4. 3 亿元、交通自动化系统 0. 67 亿元。

博实公司的技术主要来源于哈工大，在石化化工行业的后处理智能成套装备市场，占据了绝对的市场份额。博实公司生产的嵌入码垛、装箱机器人等整条流水线，广泛应用于石油化工、煤化工、粮食食品、医药、建材等领域，主要客户为中石油、中石化、中海油、神华、中煤、海尔、宝钢、GE、杜邦、新疆建设兵团等世界知名企业和上市公司，受到国外市场广泛认可。2016 年，该公司研制的具有完全自主知识产权的高温炉前作业机器人在示范应用中取得成功，开创了国内电石生产企业出炉自动化、智能化的先例。

广州数控是国内领先的成套机床数控系统供应商，数控系统产销在行业连年

领先。多年的数控系统技术积淀，使得广州数控的机器人业务发展顺利。截至2015年，广州数控机器人累计销售超过1 200台（套）。该公司攻克了工业机器人核心部件减速器的设计原理和生产工艺，掌握了被国外垄断的工业机器人本体制造的全套核心技术，实现了95%以上的机器人部件的自主研发。此外，在机器人关键零部件伺服系统和减速器上，公司计划2017年实现年产1万台工业机器人、精密减速机3万个；2020年实现年产3万台工业机器人，实现产值30亿元。

华中数控股份有限公司在机器人业务的战略布局上一直呈扩张态势，设立了两家机器人子公司：深圳华数机器人有限公司和重庆华数机器人有限公司。投资7 370万元建设华中数控数字化装备园，作为公司及其子公司储备特种数控专机、工业机器人和功能部件等产品的生产基地，以及以数控系统、伺服驱动和伺服电机为核心的研发、测试验证基地。机器人业务主要集中在机器人核心零部件、机器人整机、机器人自动化生产线的研发、制造、销售和服务等方面。公司研发的四轴冲压机器人，已成功应用于棒料冲压、板料冲压等领域；六轴多关节机器人，已广泛应用于焊接、拼装、喷涂、搬运等领域。

在工业机器人技术研发领域，我国相关科研机构和企业已基本掌握工业机器人操作系统技术，工业机器人控制、驱动系统的设计技术，机器人软件的设计和编程、运动学和轨迹规划技术，具有大型机器人自动生产线、机器人工作站、周边配套设备的开发和制备技术，开发出了弧焊、点焊、装配、搬运、注塑、冲压、涂装等工业机器人。

我国已基本掌握工业机器人关键零部件的生产技术。在工业机器人控制器方面，国内的新松机器人、埃斯顿、广州数控等企业拥有自主研发的机器人控制器，其功能基本满足机器人的控制需求。在伺服电机领域，汇川技术、华中数控、广州数控等企业已经实现批量生产。在减速机方面，南通振康、苏州绿的等企业已推出相对成熟的产品。在工业机器人本体方面，新松关节型机器人的负载能力、定位精度和响应速度等指标已基本达到ABB同类产品的水平，广州数控关节机器人的定位精度、新时达的定位精度及响应速度均已达到国际水平。在并联机器人领域，国内新松机器人、广州数控等企业的并联机器人在工作范围、重复定位精度和响应速度等方面与国外先进水平差距较小。在系统集成方面，新松机器人等国内企业在机器人系统集成技术方面已经达到国际水平。

6.5 存在的问题

1）我国工业机器人关键零部件在产品质量、产品一致性、产品系列、产品批量供应能力方面都与国外一流公司存在较大的差距。从机器人本体到关键零部件，我国80%～90%的核心部件都需要进口。在高性能交流伺服电机和精密减速器方面的差距尤其明显，长期依赖进口。其中，高精度交流伺服电机方面，国外品牌约占市场份额的80%，精密减速器主要来源于日本帝人、Harmonic 谐波减速机公司。

2）国产机器人本体成本远高于国外同类产品，特别是减速机，国内企业购买减速机的价格是国外企业购买价格的3～5倍。伺服电机、控制器等关键零部件采购价格也显著高于国外公司的采购价格。机器人三大核心部件占机器人成本约70%，其中，伺服系统占22.4%，减速器占36%，控制器占12%。三大核心零部件决定了产品的性能、质量及价格，因此是机器人产业发展必不可少的一个环节。目前，虽然这些核心零部件国内企业能够生产，但总体上与国际先进水平还有很大差距。

3）国产机器人的可靠性较外资品牌仍有很大差距，国产机器人平均无故障时间为8 000h，而外资品牌达到5万h以上。

4）高端工业机器人市场份额小，缺乏一定规模的工业机器人产业。与全球主要发达国家相比，我国工业机器人产业虽然发展迅速，但高端核心技术缺乏、市场份额和产品附加值较低。统计数据显示，目前外资品牌的工业机器人产品占有我国国内市场份额超过90%。

5）国内众多机器人企业集中在产品集成和系统集成领域。在整个机器人产业链上，上游是关键零部件，中游是工业机器人制造商，下游是行业应用。国内95%的企业都集中在系统集成这个环节上。由于缺乏核心技术，关键零部件需要高价进口，导致机器人产品集成成本高、机器人化生产线成本高，企业很难实现盈利。

6.6 发展重点

工业机器人主要由机械本体、传感与控制系统、电机及驱动系统构成。①减速器。工业机器人机械本体的关键部件就是减速器，减速器占机器人总成本的36%。②电机及驱动系统。该部分是工业机器人的动力部件，占机器人总成本的

22.4%。③传感与控制系统。该部分是机器人的智能功能的根本所在，仅控制器就占机器人总成本的12%。上述三大块合计占机器人总成本的70%，是决定机器人性能的至关重要的部件。发达国家经过长期的技术积累、产品不断更新完善，已经形成垄断优势。面对机器人强国的技术、产品、市场垄断优势，作为发展中国家的中国，怎样突破各种封锁、实现跨越式发展是摆在我们面前的严峻问题。

智能化是下一代工业机器人最重要的发展方向，智能化的理论基础是建模、算法，而建模、算法设计是典型的脑力劳动，需要掌握机器人技术的高水平人才才能完成。虽然我国制造业大而不强，但却拥有大量高技术人才。充分认识这一点，抓住智能化这一核心问题，不仅可以充分发挥我国工程技术人员在机器人领域的比较优势，而且可以成功避免基础制造业相对落后这一短板，实现弯道超越。

另外，打破垄断的利器就是“开放”与“共享”。因此，我国应大力发展开放式控制系统，首先在机器人“感知与控制”领域取得突破，占领机器人智能化技术高峰，激发客户对机器人“智能化”的需求，迅速形成智能工业机器人产业优势。

我国工业机器人应围绕下列重点发展方向有序推进：

1. 开放与共享平台

针对低、中、高端应用需求，推出若干不同性能的机器人开放控制系统平台，开放底层硬件、底层操作系统及相关系统软件。通过开放平台吸引全世界的优秀的机器人技术人才共同开发、协同创新，实现开放、共享、共创。以开放平台汇聚世界顶级机器人技术人才，以共享、共创构建智能机器人研发、创新生态圈，汇聚全球智慧不断更新、完善开放平台的软、硬系统，实现可持续发展，使开放控制系统的性能迅速超越现有国际领先机器人公司的专用控制器，冲破发达国家的技术封锁。此外，“开放”“共享”“共创”的机器人控制系统平台将更有利于打破国际领先机器人公司的产品和市场垄断地位。

2. 专用智能模块

结合我国产业特点和转型升级需求，针对不同应用领域和具体任务，依托工业机器人开放控制系统平台，开发系列专用智能模块，实现机器人喷涂、焊接、切割、磨削、装配、搬运等智能化。

3. 新一代人机交互装置

智能机器人对人机交互提出了更高的要求，因此应提前布局、研究更拟人化、更符合人类自然交流习惯的人机交互技术及产品。大力发展新一代虚拟现实技术、增强现实技术及产品。

4. 组建物联网，实现物理世界、信息世界、人类的互联互通

信息技术正在改变人类的社会结构和行为模式，未来的企业结构和生产方式也将随之改变，一个可以预见的变化是：机器、人将通过互联网更加紧密地联系在一起，实现机器与机器、机器与人的互联互通，从而改变人类的生产组织方式和生产过程。实现机器与机器的协调、人与机器的协调工作局面。

5. 在对国民经济有重大推动作用的行业中推广应用机器人化生产

机器人最初应用于模块化程度较高的汽车、电子产业，随着智能化水平的提高，以及能完成更多的复杂动作，纺织、化工、食品行业也大量使用机器人。随着技术的不断成熟和劳动力成本提高，工业机器人的应用将扩展至整个工业领域。未来国防军工、智能制造、轨道交通等将是机器人的重要应用领域。

6.7 产业发展趋势

1. 智能化

工业机器人的智能化是人类追求产品质量和生产效率的过程中对生产设备提出的必然要求，机器人的智能化旨在让机器人能够感知自身运行状态和生产环境信息，并根据感知的信息进行自主决策与控制，提高生产质量与生产效率。

2. 标准化、模块化

在功能分析的基础上，将工业机器人分解为若干标准化的、特定的模块，通过模块的不同组合即可得到不同功能的产品，以满足市场的不同需求。标准化、模块化的意义在于能够提高零部件的质量、降低零部件的生产成本、缩减产品的上市时间，同时，标准化、模块化还有利于产品维护。

3. 网络化

网络化是信息社会对生产设备的基本要求。通过网络化，可以跨越时间、空间的限制，实现对工业机器人的全方位监控、诊断和维护。同时，网络化还为跨区域合作提供了基础。

4. 服务化

工业机器人作为一种智能生产设备可用于多种生产环境和生产任务，当生产环境和生产任务改变后，需要重新建模和编程。多自由度机器人编程是一项高智力劳动，需要编程人员熟悉机器人理论与技术、熟悉生产工艺过程，由此将催生机器人服务这一新的应用分支。同时，机器人服务化还体现在对运行机器人的保养、维护和故障修复。

5. 集成化

生产的自动化必然要求生产线的自动化，因此，作为生产线中的工业机器人必然要与其他设备协同工作，工业机器人、各种机床及测量设备将集成为一个协调工作的生产系统。工业机器人系统的成本往往是机器人硬件成本的 3 倍到 20 倍，其市场规模总量远远大于机器人产品本身，是工业机器人市场发展的重要机遇。

6.8 发展对策

1）完善机器人产业发展政策，加强顶层设计，制定行业标准，打造工业互联网公共平台，规范行业发展，加强落实监督。

2）深刻把握机器人“智能化”发展趋势，加快工业机器人开放式控制系统平台建设，依托开放控制平台，开发系列智能模块，实现机器人喷涂、焊接、切割、磨削、装配、搬运等智能化。通过“开放”“共享”，打破国外技术、产品、市场垄断，加快形成智能机器人产业优势。

3）打造若干工业机器人产业聚集地，形成完善的工业机器人产业体系，选择对国民经济有重大推动作用的行业推广应用机器人化生产。

4）创新产学研用体制，创新科技成果转化机制。智能机器人属高技术附加值产业，智力资源是产业发展的决定性力量，没有科研人员的积极参与，就没有智能机器人的跨越发展。为此，要加大力度鼓励高校、科研院所人员的创新、创业，切实解决高校、科研院所人员在岗创业的体制阻碍、人事关系阻碍。智能机器人的产业化发展离不开高校、科研院所的相关知识产权，切实疏通创新、创业中所涉及的国有知识产权的转移、转化通道。

5）创新商业模式，鼓励颠覆性发展。不同于军工、高铁、通信等行业，工业机器人产业是一个高度竞争的行业，是一个充分市场化的行业，很难依靠政策

力量扶持、做强、做大若干行业龙头企业。特别是在国外公司高度垄断技术、产品、市场的条件下，唯有出奇才能制胜。

参考文献

[1] 谭民，王硕，曹志强．多机器人系统［M］．北京：清华大学出版社．2005.

[2] 王田苗，陶永．我国工业机器人技术现状与产业化发展战略［J］．机械工程学报，2014（9）：1－13.

[3] 左世全．工业机器人产业发展战略与对策［J］．时代汽车，2014（7）：66－68.

[4] 万鹏．工业机器人在汽车生产中的应用［J］．品牌与标准化，2010（6）：22－23.

[5] 范睿博．中国工业机器人发展现状和趋势探讨［J］．科技致富向导．2015（3）．

[6] 姚之驹，陈丹，赵军平．我国工业机器人须完善产业链体系［J］．中国战略新兴产业，2014（22）：52－53.

[7] 左世全．机器人竞争格局中的中国策略［J］．装备制造，2014（5）：50－53.

[8] 骆敏舟，方健，赵江海．工业机器人的技术发展及其应用［J］．机械制造与自动化，2015（1）：1－4.

[9] 计时鸣，黄希欢．工业机器人技术的发展与应用综述［J］．机电工程，2015（1）：1－13.

[10] 王伟．日本机器人新战略浅析［J］．机器人技术与应用，2015（1）：17－18.

[11] 孙英飞，罗爱华．我国工业机器人发展研究［J］．科学技术与工程，2012（12）：2912－2918，3031.

[12] 赵杰．我国工业机器人发展现状与面临的挑战［J］．航空制造技术，2012（12）：26－29.

[13] 孙志杰，王善军，张雪鑫．工业机器人发展现状与趋势［J］．吉林工程技术师范学院学报，2011（7）：61－62.

[14] 黄政艳．焊接机器人的应用现状与技术展望［J］．装备制造技术，2007（3）：46－48.

[15] 徐方．工业机器人产业现状与发展［J］．机器人技术与应用，2007（5）：2－4.

[16]《中国制造2025》规划系列解读之推动机器人发展［J］．科技导报，2015

(21)：76－78.
[17] 毕胜．国内外工业机器人的发展现状［J］．机械工程师，2008（7）：5－8.
[18] 马光，申桂英．工业机器人的现状及发展趋势［J］．组合机床与自动化加工技术，2002（3）：50－53.
[19] 顾震宇．全球工业机器人产业现状与趋势［J］．机电一体化，2006（2）：6－10.

第7章　增材制造

7.1　增材制造概述

形象地比喻，增材制造有点类似于盖房子，将特定的粉末或液体按照预先的设计逐层“浇灌”固化，最终形成所需要的三维零件。20 世纪 80 年代后期以来，增材制造逐渐成为一种引人注目的新型制造加工手段，该技术不采用一般意义上的模具或刀具加工零件，而是采用了一种新型工具能源加工原理，即利用光、热、电等手段，通过固化、烧结、黏结、熔结、聚合作用或化学作用等方式，有选择地固化（或黏结）液体（或固体）材料，从而实现材料的转移与堆积，形成需要的原型零件。

增材制造思想的初始思路来源于将三维实体截成一系列连续薄切片的逆过程，即首先对零件的三维 CAD 实体模型进行分层处理，获得零件的二维截面数据信息，然后根据每一层的截面数据，采用上述方法生成与该层截面形状一致的薄片，反复进行这一过程，薄片逐层累加，直至“生长”出所需实体零件。

增材制造技术的原理都是采用分层叠加法，即用 CAD 造型生成 STL 文件，通过分层切片等步骤进行分层处理，借助计算机控制的成型机完成材料的形体制造。通俗地说，增材制造技术就是利用三维 CAD 的数据，通过增材制造机将一层一层的材料堆积成实体原型。目前，国内传媒界习惯把快速成型技术叫做“3D 打印”或者“三维打印”，但是实际上“3D 打印”或者“三维打印”只是增材制造的一个分支，只能代表部分增材制造工艺。目前已经有十多种成型工艺。主要工艺方法有：

1）激光光固化（SLA）：用激光束对液态光敏树脂选择性逐层扫描固化，叠加形成三维实体。

2）薄板层压成型（LOM）：用激光束和加热辊对薄形材料（如底面涂胶的纸、塑料带、金属箔等）进行选择性切割和逐层黏结，叠加形成三维实体。

3）选择性激光烧结（SLS）：用激光束对粉末材料（蜡粉、塑料粉、覆膜陶瓷和金属粉等）进行逐层选择性烧结，叠加形成三维实体。

4）熔融沉积造型（FDM）：用逐步送入热熔丝状材料（如塑料丝）的方法选择性逐层熔覆，叠加形成三维实体。

5）三维立体印刷（3D－P）：用逐层铺粉末材料，选择性喷射粘结剂的方法，叠加形成三维实体。

6）固基光敏液相法（SGC）：用光掩膜法逐层固化液态光敏树脂的方法，叠加形成三维实体。

7）热塑性材料选择性喷洒（Ink－jet）：用逐层选择性喷洒热塑性材料的方法，叠加形成三维实体。

8）多层激光熔覆（DED）：相当于多层激光熔覆，利用激光或其他能源在材料从喷嘴输出时同步熔化材料，凝固后形成实体层，逐层加，最终形成三维实体零件。

不同于传统制造将多余的材料去除掉，保留所需要的形状，制作过程费时费力，造成许多材料浪费，增材制造技术可以精确地控制物料成型，提高材料利用率，能够生产传统工艺无法加工的复杂零件。在设计理念上，传统制造业的设计是面向工艺的设计，而增材制造设计时只需考虑产品结构的最优性能，从而拓展了创新、创意的空间，激发设计人员的创新思维。增材制造技术将一个复杂的三维加工过程简化成一系列二维加工过程的组合，与传统的去除材料成型方法形成鲜明对比。在产品设计验证与功能测试上，增材制造技术能够快速实现产品设计的 CAD 模型到物理实物模型的转换，方便地验证设计思想和产品结构的合理性、可装配性、美观性，易于发现设计中的问题并及时修改，大大缩短制造周期，降低费用，减小风险。在单件、小批量和复杂零件的生产加工中，增材制造技术能够直接生产高分子材料的零部件，用高强度的工程塑料直接快速成型，满足使用要求；对于复杂金属零件，也可通过快速铸造直接获得金属件。在快速模具制造和快速铸造等方面，增材制造技术也具有重要作用，通过各种转换技术制造快速模具，缩短生产制造周期，降低生产成本和风险，以适应市场激烈竞争条件下，产品多品种、小批量复杂零件生产的发展趋势。具体而言，相比传统制造，增材制造技术具有以下特点：

1）成型的复制性、互换性高。

2）高效率，高度的柔性，制造工艺与制造成型的几何形状无关，可迅速制造出自由曲面和任意复杂形态的零件。

3）可以实现自由制造，与传统制造方法结合，可以实现快速模具制造和快速铸造，为传统制造方法注入新的活力，特别适合于新产品的开发和单件小批量生产。

4）加工周期短、成本低，一般费用可降低 50% 以上，周期缩短 70% 以上。

5）无切割废料、噪声和振动等，有利于环保。

6）夜间也可以实现完全自动化生产。

国际上增材制造经过 20 多年的发展，增材制造技术不断融入人们的生活，在食品、服装、家具、医疗、建筑、教育等领域大量应用，催生许多新的产业。增材制造设备已经从制造业设备发展为生活中的创造工具。人们可以用 3D 打印机打印自己设计的物品，创造变得越来越容易，人们可以自由地开展创造活动。值得注意的是，目前增材制造技术是现有制造技术的一个补充，传统技术仍有强劲的生命力。任何技术都不是万能的，增材制造应该与传统技术优选、集成，以形成新的发展增长点。增材制造技术需要加强研发，培育产业，扩大应用。通过形成协同创新的运行机制，积极研发、科学推进，使之从产品研发工具走向批量生产，技术引领应用市场发展，改变人们的生活。

7.2 增材制造装备核心关键技术

7.2.1 成型新材料

成型材料的性能直接影响增材制造产品的质量。概念型、测试型、模具型、功能型等不同阶段的产品制造对材料提出了不同的要求。

概念型产品对材料成型精度和物理化学特性要求不高，主要要求成型速度快，以便快速获得产品原型，验证产品设计原理。常用的材料有光固化树脂，其具有较低的临界曝光功率、较大的穿透深度和较低的黏度。

测试型产品对于材料成型后的强度、刚度、耐温性、耐蚀性等有一定要求，以满足测试要求。如果用于装配测试，还对材料成型的精度有一定要求。

模具型产品要求材料适应具体模具制造要求，如对于消失模铸造用原型，要求材料易于去除。

功能型产品要求材料具有较好的力学和化学性能。不同的产品对成型材料有

不同的要求，常见要求如下：

1）能够被快速、精确地加工成型，易于连接并具有一定的强度。

2）可方便地进行后处理。

3）直接作为最终零部件使用的材料还应具有相应的使用功能。

4）材料的加工性能，如固化尺寸收缩、不均匀变形等，以进行缩、放模设计。

5）材料成型后的加工和处理方法，以提高原型或零件的力学性能、表面质量等。

6）高性能、低成本的快速成型（RP）制造专用特种材料。

7.2.2 粉末制造技术

金属粉末制造技术是金属零件 3D 打印产业的重要技术。在“2013 年世界 3D 打印技术产业大会”上，世界 3D 打印行业的权威专家对 3D 打印金属粉末给予明确定义，即指尺寸小于 1mm 的金属颗粒群。包括单一金属粉末、合金粉末以及具有金属性质的某些难熔化合物粉末。目前，3D 打印金属粉末材料包括钴铬合金、不锈钢、工业钢、青铜、钛合金和镍铝合金等。3D 打印金属粉末除需具备良好的可塑性外，还必须满足粉末粒径细小、粒度大小一致、球形度高、流动性好和松装密度高等要求。目前，金属粉末制造方法按照制备工艺主要可分为还原法、电解法、羰基分解法、研磨法及雾化法等。其中，以还原法、电解法和雾化法应用较为普遍。

7.2.3 精度控制技术

成型精度是评价成型质量最重要的指标之一。目前，增材制造成型件的精度一般处于 0.01mm 的水平。影响成型件精度的主要因素有三方面。一是模型误差：由三维 CAD 模型转换成 STL 格式文件形成的误差，以及随后的切片处理所产生的误差。二是成型误差：成型过程中材料的收缩、翘曲变形引起的误差。三是成型后零件的变形误差：增材制造中零件成型后会吸入水分引起零件变形，此外，温度和内应力变化等也会导致零件变形。为解决第一类问题，正在研制处理更优秀的直接切片软件和自适应切片软件。直接切片是不将三维 CAD 模型转换成 STL 格式文件，而直接对模型进行切片处理，得到模型的各截面轮廓，从而可以减少三角面近似化带来的误差。自适应切片是快速成型机能根据成型零件表面的曲率和斜率来自动调整切片的厚度，从而得到高品质的光滑表面。为解决第二、第三类问题，必须研究、开发新型的成型材料、新的成型工艺以及成型件表

面处理方法，使成型过程中制件的翘曲变形小，成型后能长期稳定不变形。

7.2.4 快速成型工艺后处理技术

由于选择性激光烧结快速成型的粉末材料的固有特性，烧结成型时常伴随着熔体的收缩，制件的翘曲、变形等，粉末颗粒间因结合不牢，空隙多，制约着烧结件性能的提高。由于各种因素的制约，直接烧结所得制件的强度通常不能满足制作功能件的需要，因此需要运用后处理的方法来增强制件的性能，以满足用户对功能件的需要。后处理工艺是指把烧结的原型件从 SLS 成型系统中取出，先进行清理，以去除敷粉，露出制件表面，再对原型件进行渗树脂或渗蜡后进行固化、修补、打磨、抛光等工序。目前，高分子烧结制件在后处理阶段根据用途的不同可分为两大类：当其用于精密铸造制造金属零件时，后处理材料主要为铸造蜡，以提高制件的表面粗糙度。当其应用于功能零件测试和安装时，后处理材料主要为树脂类，以提高制件的强度。

7.2.5 快速成型软件

软件的一个关键功能是从三维 CAD 模型到快速成型接口的数据转换和处理。在快速成型发展的初期，人们的注意力主要集中在工艺本身，而随着应用的不断深入，软件处理的精度和速度、软件对复杂模型的处理能力就成为应用中的一个主要瓶颈。目前快速成型技术中软件系统主要存在以下问题：数据转换模型对三维 CAD 模型的描述不够精确，所产生的 STL 格式文件难免有少量的缺陷，从而影响成型的精度和质量；已商品化的通用软件价格较贵，功能单一，只能进行模型显示、添加支撑、错误检验与修正等一种或几种功能，而且也存在数据接口问题，不易集成；商品化软件还不完善，不能满足当前快速成型技术对成型速度、成型精度和质量的要求；各公司软件开发分散，无统一的数据接口；随机携带的增材制造软件只能完成一种工艺的数据处理和控制成型。由于 STL 存在一系列的弊端，因此，需要开发出更合理、更精确的增材制造高性能软件。具体措施有：采用自适应性切片，提高制作速度和减少阶梯效应；将大的 STL 文件分割成若干小文件；直接通过 CAD 原始模型获取切片层信息，减少三角形分割引起的拟合误差，并可避免由于 STL 文件产生的弊端，提高快速成型精度等。

7.2.6 激光技术

激光技术主要用于金属或陶瓷材料的 3D 打印。尽管其他的 3D 打印也可以利用激光技术，但因成本问题只有在特定的情况下才会使用激光源。在金属和陶瓷类的高端 3D 打印中，激光器是最合适的能源。由于其非接触式的特点以及激

光功率稳定性及可控性，激光已经被认为是3D打印中不可或缺的手段。新一代的激光技术包括光纤激光和半导体激光，该类激光器件的最大优势是电光转换效率高，可达到40%～50%，通过光纤传输，不需要后期维护等。激光技术在3D打印产业中正处于发展的上升阶段。在该阶段中对用户影响最大的是激光器的价格。尽管近几年新一代激光器的成本已大幅下降，相比3D打印设备中的其他器件来说，其成本仍然是最高的，甚至达到整台设备的60%以上，这从某种角度上限制了高端3D打印的广泛发展。另一方面，如何取得高精度的生产质量，避免二次加工是激光3D打印亟待突破的技术限制。要突破这个限制，需进一步提高光学质量，尤其是高功率激光的光学质量。目前国内高光束质量的激光器已可以实现小规模地生产，光斑尺寸已达到波长量级，但生产成本还比较高。

7.2.7 直写技术

直写技术实现对材料的精确控制，是增材制造技术的核心。应该加强下面三方面的研究：开发新的直写技术，扩大适用于增材制造的材料范围；研究材料在直写过程中的状态变化，以控制更小的材料单元，提高控制的精度，解决精度和速度的矛盾；研究材料在直写过程中的物理化学变化，充分利用材料自身物化性能。

7.3 国外增材制造装备产业发展概况

第一台商业化的增材制造设备是1987年由美国3D Systems公司推出，并于1988年将第1台设备SLA－1卖给Bayer Health Care、Pratt and Whitney和Eastman Kodak公司，标志着增材制造技术工业化应用的开始。随后，日本的几家公司也分别推出了几种增材制造系统。20世纪90年代，增材制造技术的应用范围迅速扩大，使用单位包括美国的波音和通用、德国的奥迪和宝马等许多国际知名大公司。到1991年，已有16种不同的应用系统问世，其中至少有10种已商品化。1992年，增材制造设备已经在17个国家的500个项目中得到工业应用。1994年9月，世界上投入使用的增材制造设备增加到800多台，其中美国占绝大多数，日本有100多台，已有891套增材制造系统在29个国家使用，有近20家公司生产增材制造系统，年销售量336台，用增材制造系统进行服务的机构有150家（其中美国有96家，欧洲有40家）。1996年年底，全世界已安装了1 400多台增材制造设备。至2000年6月，已有40多家公司设计、制造增材制造设备，其在全球的使用数量已达2 000多台。2015年美国拉斯维加斯国际消费电子

展吸引了包括871家中国企业在内的超过3 600家厂商参展，超过17万人前来观展，这些数字均创下历史最高纪录。3D打印技术经过20余年的发展，在全球范围内已经形成了一个规模16.8亿美元的新兴产业，并以年均20%～30%的速度高速成长，预计到2016年市场规模可达51亿美元。

增材制造技术正在快速改变传统的生产方式和生活方式，欧美等发达国家和新兴经济国家将其作为战略性新兴产业，纷纷制定发展战略，投入资金，加大研发力量，推进产业化。美国奥巴马总统在2012年3月9日提出发展美国振兴制造业计划，向美国国会提出“制造创新国家网络”（NNMI），其目的在于夺回制造业霸主地位，要以一半的时间和费用完成产品开发，实现在美国设计，在美国制造，使更多美国人返回工作岗位，构建持续发展的美国经济。为此，美国政府将增材制造技术作为国家制造业发展的首要战略任务给予支持，启动首个“增材制造”项目。美国政府初期投资3 000万美元，企业配套4 000万美元，搭建了美国15个国家制造创新中心之首的“3D打印”研发中心，由国防部牵头，制造企业、大学院校以及非盈利组织参加，旨在研发新的增材制造技术与产品，构建全球优秀的增材制造研发中心，架起“基础研究与产品研发”之间的纽带。美国国家航空航天局和洛克达因公司利用“选择性激光熔融”工艺制造了火箭发动机喷射器，通过了高温高压测试，充分验证了3D打印技术在航空制造领域应用的可能性。未来，美国将重点发展全尺寸3D打印零件。欧洲在3D打印方面的布局与美国类似，于2004年开始搭建3D打印创新中心：欧洲3D打印技术平台（The European Additive Manufacturing Technology Platform，AM Platform）。目前，平台联盟成员超过350名，横跨欧盟26个国家，其中72%的成员来自工业界。英国《经济学人》杂志是最早将3D打印称为“第三次工业革命的引擎”的媒体。2013年10月份，欧洲航天局公布了“将3D打印带入金属时代”的计划，旨在为宇宙飞船、飞机和聚变项目制造零部件，最终的目标是采用3D打印技术实现由一整块金属构成、不需要焊接或熔合的整颗卫星的整体制造。澳大利亚在2013年制定了金属3D打印技术路线，并于2013年6月揭牌成立“中澳轻金属联合研究中心（3D打印）”。德国将“选择性激光熔结技术”列入“德国光子学研究”。日本着力推动3D打印产业链后端，不断尝试将本国已取得的技术成果在工业中进行推广和应用。南非政府将目光投向大型3D打印机设备的研制和开发，研制核心激光设备，扶持激光技术协同发展。

目前，国外增材制造技术的研究和应用主要集中在美国、欧洲和日本，全球

已有 20 多家机构开展了增材制造技术的研究。从技术、材料、应用和设备等方面来看，美国领先于欧洲和日本，欧洲和日本实力相当。全球 3D 打印产业的权威研究机构——美国沃勒斯公司发布的全球 3D 打印产业报告显示，2012 年全球 3D 打印市场总收入为 22 亿美元，其中包括设备和服务。美国的产业收入一马当先，大约占全球总收入的 60%，传统的制造业强国——德国和日本，3D 打印产业收入各约占全球的 10%，中国作为未来巨大的应用市场，产业收入约占全球总收入的 10%。据美国消费者电子协会最新发布的年度报告显示，3D 打印服务的社会需求量将逐年增长，其产值到 2017 年有望增长至 50 亿美元。

随着 3D 打印技术的不断发展，诞生了诸多以 3D 打印为业务的创新型公司，3D Systems、Stratasys、Optomec 等成为全球 3D 打印领先企业。

3D Systems 公司作为世界上 3D 打印的领军者，由 SLA 的发明者 Chuck Hull 在 1986 年建立，并于 2012 年 1 月收购了全球最快 3D 打印机的制造商 Z corporation 公司，合并了该公司的产品线；10 月，收购了 3D 打印软件公司 Rapid form，主打扫描、CAD 逆向工程和检测的软件工具等产品；并购了参数化计算机辅助设计（CAD）公司 Alibre 公司，实现对计算机辅助设计（CAD）和 3D 打印的捆绑。3D systems 公司在过去几年收购了近 30 多家企业，涵盖了 3D 打印的全价值链，产业规模不断壮大。在公司产品方面，2013 年，3D Systems 公司推出了第二代家用 3D 打印机——Cube X 的单材料、消费者导向型 3D 打印机，该机器装有无线连接装置，从而具有了从 3D 数字化设计库中下载 3D 模型的功能。同年，推出 PROJET 3500 系列八款专业的 3D 打印机，采用专利的多喷头建模打印技术，是业内最大的专业 3D 打印机。在 3D 打印软件方面，3D Systems 公司推出了一种可用于计算机辅助制造程序，如 Solidworks，Pro/Engineer 的插件——Print3D，通过 3D Systems' Pro - parts 服务机构，该插件可对零件及装配体进行动态的零件成本计算。在新材料方面，3D Systems 公司发布了一种名为 Accura CastPro 新材料，该种材料可用于制作熔模铸造模型。

Stratasys 公司作为 3D 打印行业具有突出地位的企业之一，与 3D Systems 公司的企业发展模式相似，除了起步较早以外，两家企业还大规模地采用并购策略，完善产品线、巩固领先优势。1993 年，Stratasys 公司开发出了第一台基于熔融沉积成型技术的设备，2012 年 4 月以 14 亿美元并购了以色列 Object 公司；2013 年 6 月以 4 亿美元收购了美国 MakerBot 公司，分别获得可以实现不同模型材料同时喷射的 Polyjet Matrix 技术和桌面级产品技术。经过 20 多年的发展，如

今的 Stratasys 已经成长为市值超过 30 亿美元的大型企业，成为全球 3D 打印技术领导品牌。在公司产品方面，2011 年 7 月，Objet 公司发布了一种新型打印机——Objet260 Connex，该种打印机可以构建更小体积的多材料模型。同期，Stratasys 公司发布了一种复合型快速成型机——Foltus250mc，该成型机可以将 ABSplus 材料与一种可溶性支撑材料进行复合。2012 年 1 月，MakerBot（布鲁克林，纽约）推出了售价 1 759 美元的新机器 MakerBot Replicator，与它的前身相比，该机器可以打印更大体积的模型，并且第二个塑料挤出机的喷头可以更换，从而挤出更多颜色的聚合物（ABS）或聚乳酸（PLA）。在新材料方面，Objet 公司发布了一种类 ABS 的数字材料、一种名为 VeroClear 的清晰透明材料以及一种新型生物相容性材料——MED610。Stratasys 公司发布了一种适用于 Fortus400mc 及 9001nc 的新型静态损耗材料——ABS－ESD7。

知名工业级 3D 打印机生产商 Optomec 公司（新墨西哥州，阿尔伯克基）以生产透镜设备而为快速成型行业所熟知，该公司的气溶胶喷射打印隶属于美国国防部高级研究计划局的介观综合保形电子（MICE）计划，该计划的研究成果主要应用在 3D 打印、太阳电池以及显示设备领域。在公司产品方面，Optomec 公司于 2011 年 6 月发布了一种可用于 3D 打印及保形电子的新型大面积气溶胶喷射打印头；2013 年 6 月推出了金属 3D 打印机产品 Lens 450，可用于修复、电镀和快速生产多种高性能金属部件，支持多种金属，比如钛、不锈钢、镍和钴等；2014 年 9 月推出了 Aerosol Jet（气溶胶喷射）5X 系统，用于 3D 打印电子器件，其独特的气溶胶喷射技术可以在几乎任何基底上打印出具有精细特征的电子、结构和生物样式。

在 3D 打印商业化之路上，全球汽车生产商福特公司联合 3D 打印厂商 Carbon 3D，开始用 3D 打印制造高质量汽车配件，加速车辆从设计到量产的过程。Carbon 3D 推出的连续液面制造（Continuous Liquid Interface Production，CLIP）新技术，可让 3D 打印速度较传统 3D 打印快 25 到 100 倍，可用材料也更加广泛。福特自身也正着手开发一种高度灵活的新型 3D 打印制造技术——自由曲面加工技术（F3T），旨在降低小批量消费钣金零件所需的本钱和时间。F3T 技术制造三维外形的模具仅仅需要几个小时，一旦投产，原型制造的时间将由传统的 2～6 个月缩短至 3 天，产品制造的个性化选择将更为广泛。该技术在航空航天、国防、交通运输和家电行业中具有广泛的应用前景。

在 3D 打印产业发展的整体规划进程中，新标准不断更新。2011 年 7 月，美

国试验材料学会（ASTM）的增材制造技术国际委员会 F42 发布了一种专门的增材制造文件（AMF）格式，新格式包含了材质、功能梯度材料、颜色、曲边三角形及其他的 STL 文件格式不支持的信息。10 月份，美国试验材料学会国际（ASTM）与国际标准化组织（ISO）宣布，ASTM 国际委员会 F42 与 ISO 技术委员会 261 将在增材制造领域进行合作，该合作将降低重复劳动量。此外，ASTM F42 还发布了关于坐标系统与测试方法的标准术语。2014 年，ASTM 相关分会批准了 ASTM F3091（8 月）和 ASTM F3049（7 月）两项与增材制造相关的标准，与有美国政府背景的增材制造推广机构 America Makes 确立了两者之间的合作框架，希望能创立一套完整的行业内标准。2015 年，欧盟发布了一份名为“3D 打印标准化支持行动（SASAM）”3D 打印标准化路线图，对接德国《工业 4.0》政策。

7.4 我国增材制造装备产业发展概况

我国增材制造技术研究起步早，主要经历了 3 个发展阶段：

第一个阶段是起步跟踪阶段（1992—1994 年），主要是消化、吸收国外技术，特别是美国的先进技术。通过消化吸收，我国高校和企业明确了增材制造技术的主攻方向。清华大学在 1988 年建立了清华大学激光快速成形中心，以 LOM、FDM 为主要研究方向；西安交通大学在 1994 年成立先进制造技术研究所，主攻光固化 SL 技术；华中科技大学于 1991 年成立了快速制造中心，研发基于纸材料的增材制造设备，主要研究 LOM 技术并于 1994 年研制出国内第一台基于薄材纸的 LOM 样机；北京隆源公司于 1994 年成立，作为中国 3D 打印产业先行者主要研究 SLS 技术，同年成功制造了中国第一台 SLS 增材制造设备——AFS－360。截至 1994 年，我国已有 20 余家企业或机构从国外引进增材制造设备，该技术的成功应用加快了企业的新产品开发进程，产生了巨大的经济效益。然而，其高昂的生产成本也使得国内大多数制造型企业难以承受。如美国 3Dsystems 公司生产的 SLA250 系统售价达 20 万美元，SLA500 价格高达 40 万美元，打印材料也只能依靠进口。

第二个阶段是发展创新阶段（1995—2005 年），我国在增材制造技术研究领域取得了一系列突破性的进展，比较成熟地掌握了几种主要增材制造技术和设备的研发能力，开发出具有我国特色的一些装备。成形材料方面陆续国产化。例如，清华大学开发了 FDM 用的蜡、ABS、尼龙等材料；西安交通大学开发了 SL

用的国产光固化树脂，特别是 1999 年还完成了近零收缩的光固化树脂的开发；华中科技大学开发了 LOM 用纸、北京隆源公司开发了蜡粉及尼龙粉等都已国产化。在技术原理及参数优化等方面的研究也取得了明显的进步。如清华大学提出了关于制造维数的概念；西安交通大学提出了增材制造的理论；华中科技大学和西安交通大学对反求工程的数据重构都进行了深入的研究。在增材制造设备研制方面，西安交通大学完成了 RE/RP/RT 集成的增材制造集成系统的开发；清华大学根据功能梯度原理研制出多功能 RPM 设备等。华中科技大学成功研发了激光烧结设备，突破了耗材瓶颈。该阶段的成果不仅具有自主知识产权，而且步入了国际先进行列。

第三个阶段是初级的产业化阶段（2008 年至今）。相对于科研的艰难推进，3D 打印技术在我国的商业推广，更为艰难。由于 3D 打印技术的进步，能够生产出强度更高、精度更好的产品，制造出一些有性能要求的零件，快速制造的概念在 2005 年前后才正式为大部分工业界人士所接受，逐渐运用于医疗、航空航天、汽车、生物工程等领域。2014 年我国 3D 打印产业产值大概在 30 亿元，其中增材制造设备和材料企业所产生的效益占绝大部分。到 2016 年，我国 3D 打印机市场规模预测将扩大到 100 亿元，是 2012 年的 10 倍，届时我国将超越美国成为全球最大的 3D 打印机市场。同时专家预测，如果 3D 打印的应用市场能够打开，到 2020 年 3D 打印的市场有可能突破 1 000 亿元甚至 2 000 亿元。

在国家科技部等多部门持续支持下，西安交通大学、华中科技大学、清华大学、北京航空航天大学在典型的成型设备、软件、材料等方面的研究和产业化方面获得了重大进展。以这些院校为技术依托分别成立的企业分别为陕西恒通智能机器有限公司、武汉滨湖机电产业有限公司、北京殷华激光快速成型与模型技术有限公司（1994 年成立，国内首家 3D 打印公司）、中航激光成型制造有限公司。其中，北京殷华、武汉滨湖、陕西恒通以自主研发的 3D 打印技术为基础，研制了工业级的快速成型机，主要以提供模具与原件制造服务、协助用户进行产品开发设计服务作为商业模式，同时北京殷华也进行专用打印耗材的研制与销售。中航激光主要研究飞机大型整体钛合金主承力结构件激光快速成型及装机应用技术，在世界范围内首次实现了激光成型钛合金构件在民用客机研制上的应用。国内其他高校和研究机构也开展了 3D 打印技术的相关研究，如西北工业大学、华南理工大学、南京航空航天大学、上海交通大学、大连理工大学、中北大学、中国工程物理研究院等单位在增材制造方面进行了探索性的研究和应用工作。其

中，华中科技大学史玉升研究团队成功研制出工业级 1.2m × 1.2m 快速制造装备，其工作面面积超过了同期德国 EOS 公司和美国 3D 系统公司的同类产品。北京航空航天大学教授王华明团队，瞄准大型飞机、航空发动机等国家重大战略需求，在国际上首次全面突破相关关键构件激光成型工艺、成套装备和应用关键技术，使中国成为迄今世界上唯一掌握大型整体钛合金关键构件激光成型技术并成功实现装机工程应用的国家。西北工业大学黄卫东团队与中航飞机公司合作，应用激光立体成型技术解决了 C919 飞机钛合金结构件的制造问题，成为 3D 打印技术在航空领域应用的典型。西安交通大学卢秉恒团队开发出具有国际首创的紫外光快速成型机及有国际先进水平的机、光、电一体化快速制造设备和专用材料，形成了一套国内领先的产品快速开发系统，其中 5 种设备，3 类材料已形成产业化生产，工业用 3D 打印机最大成型尺寸可达 1.5m，在工业、医疗、文化等产业领域得到了推广应用。清华大学颜永年团队将增材制造技术引入生命科学领域，提出“生物制造工程”学科概念和框架体系，并于 2001 年研制出生物材料快速成型机，为制造科学提出一个新的发展方向。

国内增材制造领域有北京太尔时代、北京隆源、北京殷华、武汉滨湖、陕西恒通等较早开展技术研发和应用，拥有自身核心技术的企业，也有湖南华曙、南京紫金立德、飞尔康、峰华卓立等新兴企业。北京太尔时代科技有限公司推出了 Up! 系列桌面三维打印机，并将此系列以 PP3DP 品牌面向海外，UP! Plus 成为世界上首款桌面型 3D 打印机，被美国 Make 杂志评选为“最佳用户体验”3D 打印机。此外，该公司开发销售 Inspire 系列工业级快速成型机、S－I 三维扫描系统、ABS 材料等，并提供 ABS 塑料的打印服务；北京隆源自动成型系统有限公司研制生产了 AFS 激光快速成型机，提供样件、精密铸件加工服务；武汉滨湖机电技术产业有限公司研制了 Power RE 系列结构光面三维反光系统以及 HRPM 系列金属粉末熔化快速成型系统；陕西恒通主要研制、生产和销售各类激光快速成型设备、快速模具设备及三维反求设备，同时从事快速原型制作、快速模具制造以及逆向工程服务，其产品包括高速桌面级 SLA 激光快速成型设备以及高效工业性光固化激光快速成型机等。南京紫金立德电子有限公司研发、生产、销售工业级 SD300Pro 系列 3D 打印机，并研发、销售耗材。杭州铭展网络科技有限公司基于开源 3D 打印机研发制造出了 MBot 个人 3D 打印机系列，旨在批量生产的经济型家用打印机。杭州先临三维科技股份有限公司是一家专业提供三维数字化技术综合解决方案的企业，自主研发了可见光照相式三维扫描仪，三维摄影测量系统和

三维相机，并将三维成像技术与激光应用结合，开发出了三维激光内雕控制系统，其产品已销售至全球 50 多个国家或地区。

相较于世界领先 3D 打印水平，我国在产业化进程上虽存在一定的差距，但在部分核心技术和市场应用仍具有先进一面。从技术方面来看，我国增材制造技术的自主创新能力处于世界领先地位，在利用选择性激光烧结（SLS）技术制造大型零部件领域，我国走在 3D 打印技术发展最为成熟的美国之前。从材料方面来看，国内有些金属材料（铝、铁等）与国外的差距相对较小，最有希望实现进口替代。在设备方面，目前新松机器人等龙头企业正拟研发打印金属材料的 3D 打印设备，以增强设备的市场竞争力。从应用服务方面来看，在全球范围内，3D 打印应用服务产值比设备与材料产值合计略高，我国不断探索和创新应用服务模式以实现率先突破。未来 3D 打印将以数字化、网络化为基础，实现直接制造、桌边制造和批量定制等新的制造网络化为基础，实现直接制造、桌边制造和批量定制等新的制造方式，并将在智慧工厂领域得到广泛应用。

为进一步提高我国增材制造水平，我国已经从战略高度着手增材制造的布局。在《国家高技术研究发展计划》（“863”计划）、《国家科技支撑计划制造领域 2014 年度备选项目征集指南》明确将 3D 打印关键技术、装备研制列为重大支持方向，要求聚焦航空航天、模具领域的需求，突破 3D 打印制造技术中的核心关键技术，研制重点装备产品，并在相关领域开展验证，初步具备开展全面推广应用的技术、装备和产业化条件，突破面向航空航天大型零件激光熔化成型装备研制及应用、面向复杂零部件模具制造的大型激光烧结成型装备研制及应用、面向材料结构一体化复杂零部件高温高压扩散连接设备研制与应用、基于 3D 打印制造技术的家电行业个性化定制关键技术研究及应用示范等 4 个支持方向。工信部、国家发展改革委和财政部印发了《国家增材制造产业发展推进计划（2015—2016 年）》，提出到 2016 年，初步建立较为完善的增材制造产业体系，产业销售收入实现快速增长，年均增长速度 30% 以上，整体技术水平与国际同步。目前我国 3D 打印的金属产品还不能大规模应用于工业生产，整机销售不太会出现爆发式增长，但整个产业包括整机、材料、产品及服务等，而我国在材料和服务方面有很大的市场提升空间。

在产业发展方面，许多地方政府也开始布局与 3D 打印相关的产业。湖北省将在武汉东湖高新区成立全国首个 3D 打印工业园，并计划着手编写规则给予扶持培养。北京已建立“中国工业设计技术服务联盟”，整合了国内外 39 家从事打

印技术的机构，培育设备供应企业。陕西省已成立了三维打印产业联盟，其发展重点为低价位 3D 打印设备及医疗 3D 技术，并面向航天、超高飞行器方面作陶瓷材料的超前研发。广东省东莞市《2013 年政府工作报告》中提出，扶持 3D 打印产业等战略性新兴产业发展。通过 3D 打印技术改造和提升传统产业，打造东莞 3D 打印产业的应用平台，从而形成一条完整的 3D 打印产业链。深圳积极组建包括大学、科研机构、企业、行业协会等在内的产业联盟，打造涵盖原始创新、技术开发、产品制造、内容产业到推广应用等全链条的 3D 打印技术产业链。天津市已有数百家企业在产品设计、模型开发中应用 3D 打印技术，在三维信息获取、高功率固态激光器、超精密机构、智能控制技术等交叉学科领域，具有较强的研发实力。在天津市滨海工业设计园，富士通、天津汽车、长安汽车等数百家企业应用了 3D 打印技术，其中大多数都是科技型中小企业。2012 年 10 月，在工信部的支持下，亚洲制造业协会、北京航空航天大学、华中科技大学、清华大学、湖南华曙高科有限公司、武汉滨湖机电科技有限公司、无锡飞而康快速制造有限公司等 10 多家主要的科研单位的专家学者和企业共同发起成立了中国 3D 打印技术产业联盟，同时也是世界上首个 3D 打印技术的产业联盟。2013 年 6 月，江苏省三维打印产业技术创新战略联盟在南京正式成立，该联盟由江苏阳光集团子公司、江苏紫金电子集团有限公司以及机械科学研究总院江苏分院与南京航空航天大学等联合发起。同期，西部地区首个 3D 打印产业技术创新联盟在成都成立。该联盟将以成都市的制造企业为主体，由高等院校、材料研发企业和机构、工业设计企业、科研院所、3D 打印服务应用提供商等“抱团”联动，先期从材料制造、航空应用、军工制造等产业链高端环节率先突破。近年来，我国已经在深圳、天津、上海、西安、南京、重庆等地建立了一批向企业提供增材制造技术的服务机构，并开始起到了积极的作用，推动了增材制造技术在我国的广泛应用，使我国增材制造技术的发展走上了专业化、市场化的轨道。

增材制造技术是一种具有广泛应用前景的正在不断完善的高新技术。随着市场竞争的日趋激烈，该技术将会被越来越多的企业所采用，对企业的发展，发挥越来越重要的作用，并将给企业带来直接的巨大经济效益。同时，增材制造技术作为一门多学科交叉的专业技术，其本身的发展，也将推动相关技术、产业的发展，因此大力推行发展我国快速成型技术，建立创新技术自我知识产权，对提升我国企业的民族品牌效应，矗立于世界企业之林打下坚实的基础，同时对于拉动内需，降低现今全球金融风暴对我国实体经济的影响也会起到一部分积极的作用。

7.5 存在的问题

1. 在增材制造关键技术上仍存在瓶颈

3D 打印技术的局限主要体现在材料上，材料的种类和性能受限制，缺乏高端打印材料制备技术。目前打印材料主要是塑料、树脂和金属、骨骼等，有机原料的研究也正在进行并有了初步成果。尽管已经开发了许多应用于 3D 打印的同质和异质材料，但是开发新材料的需求仍然存在。我国国内生产厂商所生产的材料品种有限，市场上大部分增材制造所需原材料均从国外进口。另外，成型的效率、工艺的尺寸、精度和稳定性仍需进一步提高。激光器、软件、材料等核心技术还依赖进口。

2. 尚且难以实现大规模量产

由于增材制造工艺仍处于发展阶段，增材制造零件的精度及表面质量尚且难以满足工程使用要求，不能直接生产功能性部件，大多运用于原型设计阶段，其生产效率远低于传统大规模生产的需要。另一方面，耗材价格过高是制约 3D 打印技术大规模量产的关键因素。从价格上来看，便宜的耗材为每千克几百元，而最贵的耗材则约 4 万元/kg。增材制造在大规模量产应用领域成本高，投资回报低。因此，从目前来看，3D 打印技术尚无法全面取代传统制造技术，但是在单件小批量、个性化、网络化生产模式上具有无可比拟的优势。

3. 企业缺乏国际竞争实力，经营模式单一

国内增材制造企业产业收入结构单一，大部分企业的收入来源主要依赖于 3D 打印设备。相比而言，国外公司则为多元经营模式，设备、服务和材料基本各占销售收入的 1/3。就企业实力来看，目前欧美较具规模的 3D 打印企业的年销售收入一般达到 10 亿元人民币，而国内目前仍没有一家企业销售收入过亿元。目前，我国 3D 打印行业整体上发展不错，设备、材料、软件等核心领域都能够不同程度实现自给，并在文化创意、工业、生物医学等领域得到应用。但是，缺乏龙头企业、核心技术、成熟的商业模式，以及市场的广泛应用和政策的资金扶持。

4. 缺乏统一的行业标准

我国自 20 世纪 90 年代开始增材制造技术研究以来，尚未形成完整的增材制造标准体系，也没有组建专门负责增材制造标准化的技术委员会，仅全国特种加

工机床标准化技术委员会组织西安交通大学等研究机构围绕快速成型工艺的机床装备制定了相关基础性技术标准，但是在试验方法、材料、打印工艺、设计与控制软件、质量检测等关键技术标准方面尚处于空白。由于相关技术标准的缺失，很大程度上制约了增材制造技术成果的累积、固化和推广应用，没能架起技术和产业衔接的桥梁，没有把技术优势转化为市场优势和竞争优势，减缓了产业发展进程。

7.6 发展重点

1. 优化产品信息的采集与处理

以现有三维 CAD 模型构造技术为基础，进一步与成型材料的成分、组织、性能分析相结合，形成成型的几何造型与物理性态的构建、分析为一体的 CAD 综合构造模块。在三维模型构造思路上，融入反求工程。能对已有产品的构造、材料等信息快速、准确的采集与处理，为新产品的剖析与改进，拓展新产品开发思路提供参考。开发增材制造的高性能软件，改进切片处理技术，降低切片处理带来的转换误差，以提高制件的精度。完善增材制造系统与 CAD 系统的接口，制定更加科学、兼容性与交换性好的国际统一的数据交换标准，探索更有效的三维模型数据离散模式。

2. 开发新的成型材料

材料是决定增材制造发展的基本要素之一。加工对象和应用方向的侧重点不同，使用的材料不同，对材料的要求也不同。目前应用较多的成型材料及其形态有液态树脂类、金属或陶瓷粉末类、纸、塑料薄膜或金属片（箔）类等，存在材料成本高、过程工艺要求高、制成成型的表面质量与内在性能还欠理想等不足。进一步的研究课题包括开发成本与性能更好的新材料、开发可以直接制造最终产品的新材料、研究适宜快速成型工艺及后处理工艺的材料形态、探索特定形态成型材料的低成本制备技术、造型材料新工艺等。

3. 提高增材制造采用的能源性能

当前增材制造所采用的能源有光能（SLA、SLS、SGC 等）、热能（FDM、焊接成型技术等）、化学能（3D－P 等）、机械能（数控加工等）。在能源密度、能源控制的精细性（包括能源本身的精细性，如激光光斑的大小；能源运动控制机构的精度等）、成型加工质量等方面均需进一步提高。

4. 研究新的增材制造方式

当前增材制造基本采用材料逐层叠加的方式制造三维实体。进一步可研究具有生物、医疗以及工业应用价值的生物生长成型制造。该方式借鉴生物生长的原理与方法，通过活性生长元的自生长，形成具有特定构造与性能的实体。探索新的自生长型智能活性材料，通过信息过程与物理过程的有机结合，主动控制基因型生长信息，实现以全息生长元为基础的智能材料自生长，构建智能制造新模式。

5. 开发经济、高效的增材制造系统

经济性是增材制造普及的关键，高效是增材制造与传统模式相竞争的基础。现有的增材制造系统在这两方面还有一定不足。进一步的研究方向应包括在确保功能的前提下，通过材料、能源、运动机构、工艺的创新，提高增材制造设备的性能、提高加工效率和质量、增强制作大件的能力，提高成型的速度、加工精度和表面质量，推出经济实用的性价比较高的系统。

6. 拓展增材制造的应用领域

当前增材制造主要应用于新产品的开发方面，目的是缩短开发周期，探询用户与市场反应。进一步可通过生物医学领域的计算机辅助断层扫描（CT）、核磁共振成像（MRI）、三维 B 超等与反求技术（RE）手段的有机结合，实现对现有产品的快速仿制、剖析、改进。

7. 开展远程制造

随着网络技术的发展和普及，以及集成化的研究，设计和制造人员可以通过各种桌面系统直接控制制造过程，实现设计和制造过程统一协调和无人化，实现异地操作与数据交换。用户可以通过网络将产品的 CAD 数据传给制造商，制造商可以根据要求快速地为用户制造各种制品，从而实现远程制造。

7.7 发展趋势

1. 向桌面级 3D 打印方向发展

桌面级 3D 打印机的出现，使得每个人甚至可以足不出门就能完成发明、创新、定制以及低成本生产等，其市场更多地集中在教育、创客和简单模型制作，客户主要是大中小学、MAKER 以及创意个人。目前，超过 100 家企业与团队投向了更具有市场推力的桌面级打印机的开发与销售上，并尝试将技术研究、3D

打印机研发销售与3D打印服务整合在一起，以建立更完善的产业模式。该技术可以推广到家庭或个人，操作简单，所用材料主要是普遍易得的环保高分子材料，具有巨大的市场前景和推广价值。

2. 向功能零件制造发展

增材制造技术可以直接制造复杂结构的金属功能零件，制件力学性能可以达到锻件性能指标。但由于高质量增材制造装备和精度控制技术等重点发展核心技术尚未完全解决，在零件的精度与性能方面存在欠缺。进一步的发展方向是提高制造精度和性能，同时向陶瓷零件的增材制造技术和复合材料的增材制造技术发展。

3. 向整体制造发展

对于传统制造来说，要生产出一个完整的产品，不同的部件往往来自不同的国家，需要把它们运送到同一个地方，再组装完成。3D打印则可以实现一次成型，并且这样的机器对于作业环境的限制正在一步步被突破，未来制造商们会倾向于选择这种节省时间、成本的技术。

4. 向组织与结构一体化制造发展

实现从微观组织到宏观结构的可控制造。例如在制造复合材料时，将复合材料组织设计制造与外形结构设计制造同步完成，在微观到宏观尺度上实现同步制造，实现结构体的“设计—材料—制造”的一体化，支撑生物组织制造、复合材料等复杂结构零件的制造，给制造技术带来革命性发展。

7.8 发展对策

1. 加强基础理论和核心技术研发

第一，各高校内部、高校与研究院所之间应建立技术信息交流平台，吸引不同领域、不同学科的专业人才参与3D打印技术理论的交流与探讨，以加强基础理论研究，例如对打印材料的稳定性、抗压性、耐热性等性能演变规律进行进一步分析，对零部件变形与抑制原理进行深入探讨等。第二，加大核心技术的研发。对激光器、工业喷头、精密光学器件等需要进口的关键零部件采取免税政策，鼓励企业通过研究进口产品学习国外的先进技术，并在借鉴的基础上不断创新，致力于突破影响产业发展的技术瓶颈。第三，加快研制新型打印材料，通过质量测试不断扩大材料的可适用范围，在保证金属材料、非金属材料市场需求的

同时，不断加大对环保材料的研制。

2. 加快专业人才培养和社会推广

高校教育是人才培养的主要方式，我国各大高校应该开设与 3D 打印技术相关的学科，对校内老师进行专业培训，外聘企业优秀技术人才、鼓励海外人才归国任教，以保证人才的培养与市场需求相适应。为了提高学生对 3D 打印技术的兴趣，相关部门应定期在文化中心、科技馆等公共机构开展科技博览会，展览以 3D 打印技术为核心生产的产品，加强人们对该技术的感性认识。

3. 健全知识产权保护机制

由于 3D 打印技术是以数字模型和打印设备为依托，而数字模型又很容易通过互联网下载获得。那么为了保护数字模型设计者的利益，首先，对于数字模型的下载应采取付费机制。第二，应该将产品的生产过程与数字模型和对应的打印设备进行标识和绑定，对数据模型的下载进行监督，切实保护模型设计者的利益。第三，对于数字模型的下载要有条件限制，例如用于枪械制造这类对社会危害性较大的数据模型应禁止下载。

4. 制订 3D 打印产业整体发展规划

作为一项新兴产业，政府应制订产业整体发展规划，明确产业发展地位，加强政策指导。例如，政府应加大对 3D 打印产业的政策支持，采取税收优惠、融资低利率等政策引导更多企业进入，优化资源配置；通过建立产业联盟等方式进行试点产业链整合，在地区性范围内完善 3D 打印产业链，并以地区发展带动全国 3D 产业的发展。

参考文献

[1] 于殿泓，李涤尘，卢秉恒．一种新型制造加工手段——快速成型制造技术[J]．工具技术，2000（4）：8－10.

[2] 王西建，徐平，高奇．快速成型制造技术的应用及开发重点［J］．辽宁工程技术大学学报，2005（S1）：221－223.

[3] 杨家林，王洋，陈杨．快速成型技术研究现状与发展趋势［J］．新技术新工艺，2003（1）：28－29.

[4] 陈胜利．快速成形技术及其发展趋势［J］．制造业自动化，2009（10）：24－26.

[5] 张杲阳，杨九瑞，王晓飞．浅谈快速成型技术在工业设计中的应用［J］．黑龙江科技信息，2008（30）：7.

[6] 颜永年，陈立峰，王笠．快速成形技术的发展趋势和未来［A］．中国机械工程学会．特种加工技术——2001 年中国机械工程学会年会暨第九届全国特种加工学术年会论文集［C］．中国机械工程学会，2001：9.

[7] 黄健，姜山．3D 打印技术将掀起“第三次工业革命”？［J］．新材料产业，2013（01）：62－67.

[8] 王忠宏，李扬帆，张曼茵．中国 3D 打印产业的现状及发展思路［J］．经济纵横，2013（1）：90－93.

[9] 卢秉恒，李涤尘．增材制造（3D 打印）技术发展［J］．机械制造与自动化，2013（4）：1－4.

[10] 卢秉恒，林忠钦，张俊．智能制造装备产业培育与发展研究报告［M］．北京：科学出版社．2015.

[11] 袁建鹏．3D 打印用特种粉体材料产业发展现状与趋势［J］．新材料产业，2013（12）19－23.

[12] 苏功鹤．中国 3D 打印产业的战略定位与发展［D］．天津：天津大学，2014.

[13] 于灏，黄瑶．为什么要发展增材制造？（上）［J］．新材料产业，2014（4）27－31.

[14] 于灏，黄瑶．为什么要发展增材制造？（下）［J］．新材料产业，2014（5）22－29.

[15] 肖承翔，李海斌．国内外增材制造技术标准现状分析与发展建议［J］．中国标准化，2015（3）．

第 8 章　智慧工厂

8.1　智慧工厂概述

随着通信与网络技术的发展，智能化不再局限于单台设备，而向制造系统、生产车间和工厂企业延伸。当代的生产实践也表明，制造不仅涉及产品或零件的加工环节，而且包括产品设计、生产、管理及服务在内的产品全生命周期。这种变革迫切需要研究新的技术手段和生产模式，以支撑对产品设计、生产、管理及服务各阶段的动态管理，智能车间与智慧工厂应运而生。随着智能制造在全球范

围的快速兴起，作为未来制造企业的重要模式的“智慧工厂”（Smart Factory，或 Intelligent Factory）成为制造业关注的焦点。智慧工厂旨在借助现代科学技术对产品全生命周期进行有效管理。

在产品设计阶段，智慧工厂强调产品设计过程的智能化和产品自身的智能化。产品设计过程的智能化包括：设计工具或软件的智能化，如智能 CAD 软件等；产品设计数据和信息管理的智能化；仿真及分析工具或软件的智能化；产品原型验证和检验的智能化等。产品自身的智能化包括：产品能存储自身的设计信息、生产管理信息和销售服务信息。产品在使用过程中能感知并记录自身的运行状态、运行环境和用户特征等。产品能根据运行状态、运行环境和用户特征调整自身功能和运行参数，以主动适应运行环境和用户习惯。产品能预测自身性能变化，提示维护、维修、报废、回收等信息。

在生产阶段，智慧工厂强调对生产全流程的监控、调度与优化，其核心是制造执行系统（MES）的智能化，更多地采用智能化方法实现产品数据管理、物料库存管理、供应链管理、生产数据管理、工具工装管理、设备与生产线管理、人力资源管理、计划排程管理、生产调度管理、生产过程控制、质量管理、成本管理、底层数据集成分析及上层数据分解等。

在管理阶段，智慧工厂强调全方位收集企业的经营、战略、管理、生产和服务等信息，收集国内外行业动态及国家行业政策等，并采用智能化方法对上述信息进行加工、处理、传递、储存及检索，通过先进的智能化分析与决策支持技术，协助企业高层管理者制定企业战略发展规划，提高决策的科学性、可行性和时效性。

在服务阶段，智慧工厂强调借助信息网络打造产品、客户和上下游企业生态圈，提供智能化的产品服务、客户服务和上下游企业服务。在产品服务方面，通过智能产品的联网功能，实时监控产品运行，根据产品运行状态、运行环境和用户使用特征，不断优化产品功能和运行参数。在客户服务方面，智能产品将成为客户与企业的“情感纽带”，不仅为客户提供所需的功能服务，同时还是客户与企业之间的互动平台。通过智能产品，企业可以自动收集客户使用产品的情况、偏好以及对产品的建议，在智能算法的支持下，不断改进产品和客户服务。在上下游企业服务方面，重点是供应链管理的智能化，依托供应链构建虚拟企业联盟，优化企业内外资源，缩短现金周转时间，降低企业面临的风险。

智慧工厂是自动化生产线、数字化车间与工厂不断发展、进步的自然结果。

在智慧工厂中，智能化理论与技术得到更广泛和更深入的应用，一些过去必须由专业技术与管理人员完成的工作，逐步交由智能系统自主完成，使产品设计、生产、管理和服务过程变得更“聪明”，而专业技术与管理人员则有更多时间从事更为智能化的工作。

8.2 核心技术

8.2.1 工业互联网技术

智慧工厂运用了大量工业互联网技术来进行工业设备与物料、数据资源（如产品设计数据、生产数据、管理数据等）和生产者（如现场工人、技术人员、管理人员等）之间的信息交互和共享。工业互联网是物理信息系统的重要组成部分，是一个以无线、移动、宽带等泛在网络作为通信的载体，协调和管理数字计算、物理过程和资源之间的相互关系，实现分散、灵活及自适应的生产制造系统。其核心在于通过应用信息通信技术和互联网空间，将虚拟系统信息与物理系统相结合，为使用者提供机器到机器的通信解决方案，满足使用者对生产过程监控、指挥调度、远程数据采集和测量、远程诊断等方面的信息化需求，将生产制造、生产工艺、生产控制和生产管理结合在一起。与更关注通信的互联网相比，工业互联网不仅支持通信，而且还支持控制，更加强调实时性、可靠性和安全性。主要核心技术包括 EPA 实时以太网技术、分布式云计算的工业实现、基于 Web2.0 的工业互联网技术、信息安全、RFID（射频识别）技术、无线数据通信技术、物联网通用架构、数据与语义、标识和安全等。

8.2.2 大数据分析与云计算技术

智能工厂内工业自动化、智能化系统的建模，控制系统的运行、管理与优化，无不涉及大量的图像及数据信息。企业的综合生产指标、生产计划调度、生产线的质量控制等，同样涉及大量复杂的数据。数据呈现大体量、多源异构性、连续采样、价值密度低、动态性强等特点。如此庞大而复杂的数据处理需求必然要寻求更为高效的计算手段，云计算通过将计算分布在大量分布式计算机，而非本地计算机或远程服务器中，根据需求访问计算机和存储系统，能达到每秒 10 万亿次的运算能力。通过大数据以及云计算的强大分析运算能力，对流程进行优化整合，以此实现工业系统的高效优化运行。主要核心技术包括：大规模数据挖掘分析及管理、分布式计算、分布式数据存储技术、分布式资源管理、面向（或集成）异构数据的计算、容错计算（解决互相矛盾的数据计算问题）、虚拟化技

术、虚拟资源的管理与调度、信息安全技术、网络存储、云计算平台管理技术等。

8.2.3 决策分析技术

在智慧工厂中，从设备到系统，从生产过程（工艺规划、计划排产、生产准备等）到运行管控（运行调度、质量控制等），从现场物流输送到物料管理等各阶段的制造活动，这些呈现多源分散的子系统共同完成了同一生产运营过程。同时，也构成了多种不同的数据模型、循环周期以及定义，产生了相互交融的资金流、物流、信息流、工作流和设备流。准确对全生产周期内的制造现场事件或状态进行管理及其协同工作，做出相应的决策分析和管理是智能工厂的关键所在。高效的决策分析平台应能提取数据有用价值，具有快速响应性能，在复杂系统下仍能做出准确快速的决策。该平台需对企业决策提供可视化支持，涵盖生产商所需的所有功能，并且统一价值链、生产周期以及价值周期，将单个或多个系统纳入商业流程中，优化生产线，实现公司目标。主要核心技术包括：多属性决策分析技术、层级分析技术、专家系统和智能化技术等。

8.2.4 设备端智能化技术

研究小容量的嵌入式数据库系统，以及数据缓存、数据同步与交换技术。加快研究终端的环境语义建模技术，以及实时数据动态采集、变频传输、视觉理解、单机智能分析与控制、区域协同等终端智能化新技术。

8.3 国外智慧工厂产业发展概况

2009 年，IBM 发布“智慧地球”的构想之后，即着手推动“智慧工厂”理念的落地。“智慧工厂”受全球关注则源自德国于 2012 年制定的《工业 4.0》计划，该计划重点之一是构建“智慧工厂”。通过研究智能化生产系统及过程，以及网络分布式生产设施的实现，推动工业智能化，构建一个绿色的、人性化的工厂。2014 年，美国 RnR 市场研究公司发布了《关于技术、现场设备与应用的智慧工厂市场全球预测与分析报告（2013—2018）》。报告预测，全球智慧工厂市场以及工业自动化产业将在 2013—2018 年，以 8.08% 的年均复合增长率增长，在 2018 年达到 2 460.3 亿美元。其中智慧工厂市场规模 2014 年约 167 亿美元，2015 年预估会增加至 180 亿美元，到 2018 年则有机会达到 235 亿美元，年增长率约保持在 7% ~11%。在智慧工厂的应用市场领域，自动化与运输应用市场，采矿、矿物和金属行业预计将取得较高增长率。现场设备市场的表现要强于封装

应用技术市场。

德国安贝格电子工厂（EWA）由德国西门子（Siemens）集团于1989年建成投产，是西门子公司“数字企业平台”的典范。2013年，西门子公司在中国成都高新区建成了德国安贝格电子工厂的姊妹工厂——西门子工业自动化产品成都生产研发基地。德国安贝格电子工厂生产的每一件元器件，都拥有自己的数据信息，数据在研发、生产、物流的各环节不断丰富，生产过程信息实时保存在Simatic IT生产执行系统中。基于这一数据库，企业资源计划（ERP）、产品生命周期管理（PLM）、制造执行系统（MES）、控制系统以及供应链管理实现信息互联。EWA拥有高度数字化的生产流程，能灵活实现小批量、多批次生产，相较1986年，该工厂的产能提升了8倍，平均每秒生产一件产品，质量提高了40倍，产品种类达1 000种，合格率高达99.998 8%，生产线可靠性达到99%，可追溯性高达100%，上岗员工只需要10~35min的安全培训，就可以胜任相应的工作。

德国博世洪堡工厂的智能生产线能够切换生产6大家族产品、2 000种不同规格产品，并且实现小批量定制化生产，甚至是单一产品生产。该生产线因实现了人、机器、物体与IT系统的最佳互联，被德国知名行业杂志授予“工业4.0奖”，是切实可行的工业4.0创新解决方案的典范。

博世洪堡工厂的整个生产过程都通过射频识别（RFID）技术的运用达到高度自动化，包括原材料输送系统、零件的登记注册、下订单、确认和追踪等程序。除了人工将零配件装入流水线之外，所有程序都是通过设备与设备之间的数据阅读，由机器人自动完成，实现了智能化原材料输送。博世洪堡工厂的国际生产网络系统通过大量的数据收集和分析，实时保证全球8个国家20条生产线持续不断地进行标准化生产。另外，流水线操作状况监控和支持系统、远程技术支持和高效设备管理系统均是智慧工厂的重要体现形式。该生产线在提升生产效率10%的同时，减少30%的库存。

Tata汽车有限公司在印度Gujarat投资41 700万美元，建造了一座具有智能化特征的工厂。该工厂内的每一生产环节均融入了智能化特征，生产线能够依据客户偏好和订单需求进行调整，实现小批量、个性化生产。工厂内各零部件均带有“身份”信息，数据管理系统能够追踪每个零件的来源，并快速确认零件状态，解决任何可能产生的质量缺陷和安全问题。此外，该工厂的管理网络与智能电网互联互通，智能调控生产线生产计划，在能源最为充沛或能源成本最为低廉的时段大量投入设备运行以降低成本。

美国通用汽车在全球范围内拥有数十家模拟实验室，采用数字化模型来进行汽车的模拟设计。通用公司的新产品以3D图像显示在屏幕上，设计师和技术专家通过研究这些图形，开发出合理的零部件体系和生产流程，不仅极大地避免了生产过程中的冗余，更创造了源源不断的利润。应用数字设计技术，通用将轿车的开发周期由原来的48个月缩短到24个月，碰撞试验的次数由原来的100多次降到50次，应用电子商务减少了销售成本10%。

谷歌公司在2012年4月发布了具有增强现实功能的“谷歌眼镜”。为此，智慧工厂创新联盟成立了专门的项目组，打算将该技术用于工业维护系统，通过头盔式显示器，将多种辅助信息显示给用户，包括虚拟仪表的面板、被维修设备的内部结构以及被维修设备零件图等，从而大大提高维护效率。同时，利用该工厂辅助系统支持、帮助和培训新一代工作人员，形成企业人才培育新方法。

8.4 我国智慧工厂产业发展概况

2011年，由德国倍福自动化和北京易能立方等几家自动化公司联合发起组建了一个行业性非营利组织——中国科技自动化联盟。该联盟于2012年在工业应用领域提出了“智慧工厂1.0”这一概念。在核心观点上，智慧工厂与德国工业4.0战略不谋而合。中国科技自动化联盟定义了智慧工厂1.0的框架，其核心是由数据—信息—知识—决策四个环节所构成的智慧链。该框架的顶层是企业商业框架（包括战略、愿景、文化价值观），下一层是企业的管理基础和技术（包括IT和自动化）基础，再一层是智慧工厂三大集成，即横向集成、纵向集成和生命周期价值链集成，底层是智慧工厂实现的效果或特征（包括信息一致性、全厂安全、系统能效等）。

从2015年开始，国家工业和信息化部实施了智能制造专项行动，并选择钢铁、石化、纺织、轻工及电子信息等领域开展智慧工厂应用示范。2015年11月，我国成立了第一个智慧工厂行业组织，由沈阳飞机工业集团、华中数控、中科院自动化所等30多家企业作为首批发起单位，组建了“中国机电一体化技术应用协会智慧工厂分会”，旨在推动智慧工厂的技术理论研究和建设与示范，构建智慧工厂的政策研究、标准制定、技术线路图、应用示范等交流与合作平台。

九江石化作为中国的第一家智慧工厂试点，为实现可视化、实时化、智能化的生产和管理要求，与华为进行战略合作，在信息通信、生产协作、智能管理等领域开展广泛合作，共同打造世界一流智慧工厂的基础设施。基于华为在通信和

数据信息方面的技术实力，完成了工厂 LTE 无线宽带网络、调度系统、视频会议系统、视频监控系统、存储、巡检终端等设备的布局。虽然目前该工厂还未达到工业 4.0 所要求的智慧工厂的运营标准，但在未来，依靠华为在大数据、云计算方面的技术优势，九江石化将建成一个高效完善的云数据中心，实现虚拟化、云计算等 IT 智能化管理，进一步节省能源消耗率，提升资源利用率，实现更智能化的运营。

徐工集团的起重机智能化工厂内，关键数控设备及大型加工中心全部联网，从物料运输到生产检测，几乎所有工序都在云端完成，实现了对车间现场网络化监控和可视化管理。同时，通过 MES（制造执行系统）与 ERP（企业资源规划）系统的全面集成，实现了生产过程的自动化管理和控制，提高了企业柔性生产制造水平。通过 MES 系统，各个生产单元之间的协同更加及时，生产订单进度、生产瓶颈工序、工人绩效、产品生产质量等生产模型，均由量化数据体现；MES 系统实时记录制造过程中的在制、工时、人员等信息，整个生产过程可追溯，为技术研发人员提供了及时准确的多样数据。另外，通过 MES 系统的实施，快速建立了及时决策体系，对生产现场出现的问题第一时间反馈给管理者，并采取最快的速度解决问题，后期大量的 SPC 统计分析报表也为企业决策层提供了丰富的管理依据。

海尔的“黑灯智慧工厂”采用了高柔性的全自动无人生产线，装配了 200 多个 RFID、4 300 多个传感器、60 个设备控制器，并且采用 IMES 全程订单执行管理系统，全面实现内外互联、信息互联和虚实互联三大互联。用户可通过海尔定制平台，依据个人喜好，定制具有个性化需求的产品，形成了企业与用户需求数据无缝对接的智能化制造体系。生产线上的操作工人由 92 人减为 1 人，平均 10s 就能诞生一台冰箱。

8.5 存在的问题

1. 商业宣传与技术研究鱼龙混杂，企业民众“雾里看花”

智慧工厂是制造技术、自动化技术、信息技术、人工智能技术发展到一定阶段的必然结果。我国由于尚未完成工业化，部分企业还处于机械化阶段，多数企业处于机械化向自动化过渡阶段，少数企业处于自动化向数字化、智能化发展阶段。由于企业发展水平不同、技术储备不同，对技术升级的需求自然不尽相同，这本是极为正常的事情。但是，部分企业、媒体将一些属于企业自动化生产线的

内容也被冠以“智慧工厂”进行宣传报道，导致鱼龙混杂、概念混淆，既误导民众，又对技术自身发展产生不利影响。商业的归商业、技术的归技术。商业宣传不等于技术研究，技术研究既要服务于企业、又不能在商业宣传中迷失方向，这一点，政府、企业、研究人员都应保持清醒的认识。

2. 智慧工厂建设的系统性规划不足，全生命周期价值创造力有待增强

智慧工厂建设是一项复杂的系统性工程，涉及研发设计、生产制造、仓储物流、市场营销、售后服务和信息咨询等各个环节，需要企业立足于围绕产品的全生命周期价值链，实现制造技术和信息技术在各个环节的融合发展。限于资金投入不足、智能生产设备和技术缺乏以及认知不够深入等因素，我国企业智慧工厂建设整体来看缺乏系统性规划，覆盖的环节还有待完善。虽然大型龙头企业有相对长远的规划布局，但从总体上来看，我国企业建设智慧工厂的全生命周期特征仍不明显。一是企业缺乏统筹规划，各部门、各业务板块之间的资源整合力度还有待提高，特别是企业内部之间的横向数据对接、信息共享和业务协同。二是企业普遍缺乏从产品研发、设计、生产、物流到服务的全信息流管理，难以实现全部环节的无缝衔接和信息集成。总之，在建设智慧工厂时，要充分、全面地评估企业自身条件和行业发展状态，在决策规划时要面向未来、在实施建设时要立足现在。

8.6 发展趋势

1. “传统工厂”向“智慧工厂”转型

根据国务院发布的《中国制造 2025》规划，我国已围绕经济社会发展和国家安全重大需求选择了十大优势和战略产业作为突破点，力争到 2025 年达到国际领先地位或国际先进水平。这十大重点领域是：新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农业装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。在这十大重点领域的龙头企业中，“智慧工厂”有望率先破茧而出，并对其他领域、行业内的企业起到示范、引领作用。

2. 支撑智慧工厂的相关技术及行业将得到蓬勃发展

智慧工厂的建设是一个由简单到复杂、由低级到高级、由局部到全局的逐渐

推进过程，在这一过程中，构建智慧工厂的单元技术与相关产业、系统技术与相关产业将得到蓬勃发展，如智能机床、工业机器人、3D 打印、物联网和工业互联网等。

8.7 发展重点

1. 建立跨领域、跨行业、跨部门的智能工厂综合标准化体系与管理体系

制定一批关于语言、通信、系统组态、显示方式等当前急需的基础标准和技术标准，保证各厂家设备的通用性。例如，智能装备硬件数据接口统一，以实现设备与管理系统之间的双向通信；智能装备信息接口统一，各家厂家和控制系统供应商就能够统一使用固定的数据格式，管理系统即可采集和处理相关数据。站在企业战略层面，全面建立两化融合管理体系，促进工业互联网、云计算、大数据在企业的研发设计、生产制造、经营管理、销售服务等全流程和全产业链的综合集成应用，全面深化应用战略 – 模式 – 流程理念和 ERP 系统，最终实现全产业链整体智能化、互联网化。

2. 提升制造装备和物流装备的数字化、自动化及智能化水平

在重点领域试点建设智能工厂/数字化车间，加快人机智能交互、工业机器人、智能物流管理、增材制造等技术和装备在生产过程中的应用，促进制造工艺的仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制，改造升级现有各类普通机床和生产线的数控功能、数控化率和联网率，推动生产设备互联、设备与产品互联，建设自动化车间。此外必须突破传感器、在线测量仪表、智能控制装置、工业机器人、伺服传动和精密传动装置、工业软件等核心基础部件的关键技术瓶颈，并实现产业化。在减速机的扭转刚度、传动精度等方面与国外产品还有较大差距，仍需投入精力进行突破。探索运用互联网、移动互联网、3D 显示、移动 O2O 等打造用户聚合平台，收集用户个性化需求，实现企业内部以及全球各方设计研发者之间的协同共享，通过众包设计研发及云制造降低企业创新成本。加快产品全生命周期管理、客户关系管理、供应链管理系统的推广应用，促进集团管控、设计与制造、产供销一体、业务和财务衔接等关键环节集成，实现智能管控。注重搭建通用的开放型软件（软件平台），促进制造工艺的仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制。企业结合实际需求对智能工厂的子系统进行二次开发，将生产数据与智能化软件、硬件有机地结合在一起。

积极布局物联网通用架构、数据与语义、标识和安全等基础技术研发，加快了物联网理念和相关产品及技术向生产制造领域的渗透和应用。

3. 优化人才培养模式，创新智慧工厂教学模式

随着智慧工厂的推广应用，传统的工艺类岗位也面临着数字化改造，人才培养的标准与市场岗位需求正悄然发生变化。智慧工厂的建设对具备高端制造领域运作模式和数字化控制技术的高级人才、具备“互联网 +”业态创新思维与智能工厂整合能力的复合型管理人才有着巨大的需求。对 CAD、CAM、CAE、CAPP、MES、ERP 等数字化研发设计管理工具的运用成为员工的基本能力要求。数字化建模、精益专员、逆向造型、3D 打印、精密测量与检验等岗位越来越重要。应在高校范围内建立对应专业，并联合企业打造“校企”的实训模式，创新工业智慧工厂综合教学模式。

8.8 发展对策

1. 做好顶层设计，有序开展应用示范试点

一是研究制定国内智慧工厂的发展战略及规划。围绕全球前沿发展趋势，结合重点行业具体建设情况，明确国内智慧工厂建设的核心思路、阶段目标、主攻方向、发展路径和保障措施。二是研究提出国内智慧工厂建设的共性模型。立足产品全生命周期，围绕智慧工厂的主要环节和重点领域，根据不同行业的具体特性，以企业为主体提出适用于产用双方的建设模型，并根据技术和市场的变革情况持续更新完善。三是开展重点行业智慧工厂应用示范。依托战略、规划及模型，选择钢铁、石化、机械、纺织、电子等行业，围绕推广普及智能制造单元、智能车间、智慧工厂，组织开展三维仿真设计、装备智能升级、生产流程再造、供应链协同管理和远程诊断维护等试点，培育一批行业智慧工厂应用典型，探索智慧工厂模式推广普及新机制，逐步实现行业层面的车间级、工厂级的智能化改造。

2. 创新管理手段，切实增强安全可控能力

一是着力构建与智慧工厂发展相关的软硬件支撑体系。继续组织实施智能制造发展专项、高档数控机床与基础制造装备科技重大专项，以及“数控一代”装备创新工程行动计划，增设面向 2030 年的智能制造科技重大专项，推进智慧工厂关键软硬件产品的联合攻关，制定核心软件、硬件、系统和装备的发展路线图，突破核心电子器件、高端芯片、关键材料核心技术和产业化瓶颈，全面提升

面向智慧工厂的设计工具、制造执行系统、产品全生命周期管理、工控系统及整体解决方案的自主提供能力。二是支持企业围绕智慧工厂开展组织形态与商业模式创新。以互联网产业创新发展为引领，以工业物联网为支撑，以激发传统企业互联网转型内生动力为着力点，鼓励制造企业发展基于互联网的个性化定制、O2O、网络众包、云制造等新型制造模式，鼓励 IT 企业发展支撑工业转型发展的传感器网络、工控网络、无线宽带、工业云、工业大数据及工业 APP 等新的解决方案和应用体系。

3. 依托行业联盟，逐步完善创新服务体系

一是成立国家层面的智慧工厂创新服务体系工作组。由行业主管部门牵头，以相关行业联盟为主要载体，成立智慧工厂创新服务体系工作组，由主管部门分管领导担任工作组长，由联盟负责人担任执行组长，聘请院士级专家为工作组顾问，以参与智慧工厂建设的产用双方企业为主体成员，构建联席会议机制，定期沟通解决实际问题，共同推进体系建设工作。二是开展针对智慧工厂建设与创新需求的全面服务。围绕智慧工厂建设模式在重点行业的推广应用，指导地方政府、行业协会、中介组织创新组织方式，建立和完善网络化、专业化、社会化的智慧工厂创新服务体系，开展成果转化、检验检测、人才培训、标准推广和方案咨询等服务，打造实体业务与网络平台的融合运行机制，探索以企业为主体的市场化运作模式。三是研究建立智慧工厂创新服务体系发展基金。发挥政府资金的杠杆和乘数效应，引导整合社会资金，探索建立智慧工厂创新服务体系发展基金。该基金将在运作模式上采取政府引导、市场运作的模式，尊重市场规律，借鉴国际国内成功的产业发展基金管理运作经验，紧密结合国家重大战略决策，着力于市场化运行智慧工厂创新服务体系各项功能。一方面与地方相关园区基地紧密合作，参股区域性投资基金，逐步形成智慧工厂创新服务体系的全国布局；另一方面参股社会资本，引导其科学合理有序地开展智慧工厂创新服务的相关业务。

4. 深化部省合作，联合打造协同发展平台

一是部省共建一批智慧工厂发展创新基地。围绕智慧工厂的研发设计、生产制造、过程管理等环节，立足产品、设备、管理、服务和生产五个维度，加强区域信息技术产品及服务提供商与工业企业的合作对接，以模式探索和前沿突破为导向，部省共建一批特色鲜明、创新活跃、成效显著的智慧工厂发展创新基地，实现产业链重点环节智慧工厂建设对上下游的带动作用，构建区域内的智慧工厂创新生态体系。二是引导智慧工厂跨区域资源整合和信息共享。在国家和地方行

业主管部门的联合引导下，以京津冀一体化等战略方针为契机，以产用双方的区域代表性企业为主体，以专题调研、现场诊断、项目申报和平台建设为主要方式，组织开展跨区域的产用交流与沟通，实现互利共赢的产用合作，并逐步落实完善为常设机制，促成实际项目落地，扩大示范效应，提升国内智慧工厂的整体建设水平。

参考文献

[1] 杜宝瑞，王勃，赵璐，等．航空智能工厂的基本特征与框架体系［J］．航空制造技术，2015（8）：26－31.

[2] 周安亮，屈贤明．走向智能工厂的路径［J］．装备制造，2015（4）：80－81.

[3] 崔晓文．境外“智慧工厂”发展研究［J］．竞争情报，2014（3）：38－49.

[4] 宋慧欣．智能仪表，构建智能工厂的基石［J］．自动化博览，2015（10）：32.

[5] 杜品圣．智能工厂——德国推进工业4.0战略的第一步（上）［J］．自动化博览，2014（01）：22－25.

[6] 杜品圣．智能工厂——德国推进工业4.0战略的第一步（下）［J］．自动化博览，2014（2）：50－55.

[7] 宋慧欣．梁力强：“智慧工厂”正向我们走来［J］．自动化博览，2014（4）：24－25.

[8] 彭瑜．智慧工厂：从电气化到智慧化［J］．电器工业，2013（7）：44－46.

[9] 王华，郭梅．从传统工厂到数字化、智能化工厂［J］．电子世界，2013（20）：205－206.

[10] 孙柏林．当前自动化十大热门技术发展趋势述评［J］．自动化技术与应用，2011（3）：1－7.

[11] 崔晓文．国外“智慧工厂”发展研究［J］．竞争情报，2014（3）：38－49.

[12] 李朝海．智能化制造技术在智能化工厂中的应用探究［J］．建筑工程技术与设计，2014.

[13] 梁力强．共同迎接“智慧工厂”新时代［J］．智慧工厂，2015（10）.

[14] 肖云龙，尤鸿，徐楠，等．基于RFID技术的智能工厂［J］．科技视界，2014（23）：39－39.

[15] 王健．如何走向智慧工厂：“中国智慧工厂1.0”与“智慧工厂”开放平台［J］．可编程控制器与工厂自动化，2015（9）.

[16] Karl－Heinz Steinmetz. 通过技术创新推动智能工厂建设［J］．中国电子商情：

基础电子，2014（12）.
[17] 赵建凯．智能工厂的“广义定论”[J]．IT 经理世界，2015（11）.
[18] 冯冬芹，金建祥，褚健．智能工厂核心技术——EPA 实时以太网 [J]．国内外机电一体化技术，2004（6）：47－50.
[19] 姜红德．智慧工厂：智能制造路径探索 [J]．中国信息化，2015（2）：42－44.
[20] 国务院．中国制造 2025 [R]．2015.

第 9 章　云制造

9.1　云制造概述

云制造经历了 1.0 和 2.0 两个发展阶段。智慧云制造（云制造 2.0）是一种互联化、服务化、个性化、定制化及社会化的智慧制造新模式和新手段，具体而言，是基于各种网络的面向服务的智慧化的制造新模式，是以人为中心，将信息化制造、新兴信息技术、智能科技等领域多种技术深度融合的产物。根据李伯虎院士的介绍，智慧云制造“将各类智慧制造资源和智慧制造能力虚拟化、服务化，构成智慧制造资源和制造能力的服务云池，使用户通过终端、网络和智慧云制造服务中心，能随时随地按需获取智慧制造资源与智慧能力服务”。

云制造把“软件即服务（SaaS）”的理念拓展至“制造即服务（Maas）”，将分散的制造资源（包括制造全生命周期活动中的各类制造设备及制造过程中的各种模型、数据、软件、领域知识等）和制造能力虚拟化接入到云制造服务平台，使用户通过终端及云制造服务平台对制造全系统、全生命周期活动中的人、机、物、环境、信息进行智慧地感知、互联、协同、学习、分析、预测、决策、控制与执行，使制造全系统及全生命周期活动中的人/组织、经营管理、技术/设备及信息流、物流、资金流、知识流、服务流集成优化，进而高效、优质、低耗、柔性地制造产品和服务用户，提高企业或集团的市场竞争能力。云制造形成巨大的制造资源池和制造能力库，有利于实现资源优化配置，提升制造资源和能力应用的综合效能，实现企业制造资源、能力、知识的全面共享、协同和按需使用，达到多方共赢的目的。

相比敏捷制造，云制造综合了敏捷制造的敏捷化理念，同时强调绿色化、个性化和服务化等思想，在应用模式与组织实施方面，云制造平台更为开放，协作

联盟和业务范围更为广泛，资源种类及数量更为丰富，业务过程经验、知识积累更为深厚。

相比网络化制造，云制造是网络化制造的一种新的形态，网络化制造的典型应用模式制造网格（MGrid）和应用服务提供商（ASP）在一定程度上已经初步构建了云制造服务的雏形。MGrid 提出了一种资源共享的服务思想，ASP 提供了一种企业信息化的应用模式，二者的有机融合构成了面向服务的新型制造模式——“云制造”模式。但由于云制造融入了云计算、物联网、服务技术等技术和架构，与 MGrid 和 ASP 相比，有鲜明的特点和优势。云制造能够有效地解决分布式异构制造资源和制造能力的异构集成问题，支持多用户或大规模复制制造任务间的协同和互操作，可更加敏捷快速地响应用户的服务需求，最终实现企业合作过程全生命周期智慧制造。对于制造资源或能力过剩的企业而言，可以将其资源虚拟化接入到云制造服务平台，提高资源的利用率。对于制造资源或能力不足的企业而言，云制造服务平台支持以多租户方式按需租用或调用云服务的方式来完成相应制造任务。云制造模式降低了企业的准入门槛，提高了制造的敏捷性，能够充分发挥企业的群体创新能力，从而实现智慧制造。

相比云计算，云制造进一步丰富了云计算的服务内容，“制造即服务”的理念是云计算在制造业领域的应用和发展，促使企业从生产型向服务型的转变，通过将所有制造资源、制造能力等封装成云服务提供给用户，实现产品高附加值、低成本和全球化制造的高效服务。

云制造的架构由物理资源层（P－Layer）、云制造虚拟资源层（R－Layer）、云制造核心服务层（S－Layer）、应用接口层（A－Layer）、云制造应用层（U－Layer）以及面向制造业的各个领域和行业的访问层六个层次组成，包括制造云运营者、资源提供者和资源使用者三个主体。资源提供者将自身的制造资源和能力封装成云服务，通过虚拟化接入方式发布到第三方运营平台，为自身创造更多的合作机遇；资源使用者根据自身制造任务的需求，可以动态按需申请使用从制造云运营者提供的服务平台（云制造服务平台）提供的各类应用所需的云服务；制造云运营者实现对云服务的高效管理、服务计费、运营等，并根据资源使用者全生命制造周期的应用请求，动态、灵活地为资源使用者提供云服务，并支持合作伙伴之间的协同与交互。在理想情况下，云制造支持制造业在广泛的网络资源环境下，为产品提供高附加值、低成本和全球化制造的服务，实现制造资源的高度共享。通过建立共享制造资源的公共服务平台，将巨大的社会制造

资源池连接在一起，提供各种制造服务，以实现制造资源与服务的开放协作以及社会资源的高度共享。企业用户无须再投入高昂的成本来购买加工设备等资源，可以通过咨询公共平台来租赁制造资源。云制造将实现对产品开发、生产、销售、使用等全生命周期的相关资源的整合，提供标准、规范、可共享的制造服务模式。这种制造模式可以使制造业用户像用水、电、煤气一样便捷地使用各种制造服务。

当前，我们正处于一个庞大的、互联的、分散的互联网系统时代，大数据、大企业、庞大的财务网络和复杂的经济生态系统遍布全球。云制造将催生无数个“蚂蚁工厂”，以3D打印为基点，云制造将在移动式互联网的支撑下，把全球成千上万的“蚂蚁工厂”连接起来，实现制造资源和制造能力共享与协同，为社会提供低成本和全球化制造的个性定制服务，每个独立的、个体的“蚂蚁工厂”，它们既可以独立自主生产，又可以实现集体创造，共同协作完成一个大件商品。云制造模式和技术的研究与应用将会促进我国制造业向“产品”加“服务”为主导的“集成化、协同化、敏捷化、绿色化、服务化、智能化”的新经济增长方式发展，进而加快我国制造业实现“智慧化制造”，提高制造企业的自主创新能力和市场竞争能力，推进实现中国制造由大变强的战略目标。

9.2 云制造核心技术

9.2.1 云制造总体技术

云制造总体技术主要是从系统的角度出发，研究云制造系统的结构、组织与运行模式等方面的技术，同时研究支持实施云制造的相关标准和规范。包括：

1）支持多用户的、商业运行的、面向服务的云制造体系架构。

2）云制造模式下制造资源的交易、共享、互操作模式。

3）云制造相关标准、协议、规范等，如云服务接入标准、云服务描述规范、云服务访问协议等。

9.2.2 云端化技术

云端化技术主要研究云制造服务提供端各类制造资源的嵌入式云终端感知、封装、接入、调用等技术，并研究云制造服务请求端接入云制造平台、访问和调用云制造平台中服务的技术，包括：

1）支持参与云制造的底层终端物理设备智能嵌入式感知与接入技术、云计算互接入技术等。包括基于 RFID/无限传感网络等的智能感知技术、面向物联网/CPS 的资源接入适配器技术、海量感知数据的动态采集、分析与预处理技术。

2）云终端资源服务定义、封装、发布、虚拟化技术及相应工具的开发。包括跨学科领域知识动态管理与集成技术、云制造软硬资源/能力的语义描述与建模技术、物理－虚拟资源的映射与转化技术、虚拟资源云池的构建与管理技术、虚拟资源云池的运行时动态优化技术、云制造能力的服务化封装与云端化技术。

3）云请求端接入和访问云制造平台技术，以及支持平台用户使用云制造服务的技术。

4）物联网实现技术等。

9.2.3 云制造服务环境构建与管理技术

云制造服务环境构建与管理技术主要研究和支持云服务运营商对云端服务进行接入、发布、组织与聚合、管理与调度等综合管理操作，包括：

1）云提供端资源和服务的接入管理，如统一接口定义与管理、认证管理、分类管理等。

2）高效、动态的云服务按需组建、聚合、存储和演化方法。

3）高效能、智能化云制造服务搜索与动态匹配技术。

4）云制造虚拟资源动态构建与部署、分解、资源服务协同调度优化配置方法。

5）云制造服务提供模式及推广，云用户（包括云提供端和云请求端）管理、授权机制等。

9.2.4 云制造业务运行、管理模式与技术

云制造业务运行、管理模式与技术主要研究云制造模式下企业业务和流程运行、管理的相关技术，包括：

1）云制造模式下企业业务流程的动态构造、管理与执行技术。

2）云制造服务的价格与 QoS 管理技术。包括云服务的成本构成、定价、议价和运营策略，以及相应的电子支付技术等。

3）云制造模式各方（云提供端、云请求端、运行商）的信用管理机制与实现技术等。

4）云制造交易过程管理技术、运行监控技术。

5）云制造服务高可靠协同与虚拟资源容错技术。

6）云制造服务动态调度与资源虚拟按需透明使用技术。

7）云制造服务环境评估技术。包括交易多主体信用评估技术、云制造服务综合效用评估技术、虚拟资源与物理资源综合评估技术。

9.2.5 云制造普适人机交互技术

云制造普适人机交互技术主要研究云制造模式下终端用户的人机交互技术，包括：

1）云制造用户使用环境的按需个性化界面定制技术。

2）面向普适用户的云制造信息可视化技术。

3）支持普适计算的多模态自然交互技术。

4）面向普适信息的可视分析技术。

5）基于现实的人机交互技术，如自然用户界面、虚拟现实技术、增强现实技术、有形用户界面、上下文感知计算、手持或移动交互、感知和情感计算、语言交互及多模态界面等。

9.2.6 云制造可信与安全制造服务技术

云制造安全技术主要研究和支持如何实施安全、可靠的云制造技术，包括：

1）云制造终端嵌入式可信硬件。

2）云制造终端可信接入、发布技术。

3）云制造可信网络技术、云制造可信运营技术等。

4）系统和服务可靠性技术等。

5）数据安全：数据安全是指保存在云服务系统上的原始数据信息的相关安全方案，包括数据传输、数据存储、数据隔离、数据加密和数据访问。

应用安全包括：①终端安全：用户终端安全软件。②SaaS 应用安全：为用户提供应用程序和组件安全。③PaaS 应用安全：保障平台软件包安全。④IaaS 应用安全：用户需要确保自己在云内的所有安全。

虚拟化安全包括：①虚拟化软件产品的安全。②虚拟主机系统自身的安全。

9.3 国外云制造产业发展概述

全球制造企业正在改变传统的“制造 + 销售”的简单业态，逐步向“技术 + 管理 + 服务”的复合业态转变，企业转变为提供专业服务的中心，在产品研发、制造、咨询、贸易等各个层面提供各种高附加值服务。英国罗尔斯 · 罗伊斯（劳斯莱斯）公司改变单一出售发动机的模式，出售“租用服务时间”，租用期内承

担一切保养、维修和服务，服务收入达到公司总收入的 50% 以上。

这一产业经营模式的转变使“云制造”的理念和技术在国内外学术界和产业界引起广泛的关注。制造业发达国家已经开展“云制造”模式实践，在 IBM、Google 等大型跨国企业和政府机构受到了高度重视。2010 年 8 月，欧盟第七框架投资 500 多万欧元启动制造云项目（ManuCloud），项目由弗劳恩霍夫研究院、制造技术和自动化研究所（IPA）负责，英国、德国、匈牙利和奥地利 4 个国家的高校、研究所和企业共同参与，其目的是在一套“软件即服务”（software – as – a – service）应用支持下，为用户提供可配置制造能力服务。该项目的研究成果现已在汽车领域及照明行业进行初步的应用。2013 年，欧洲启动 CAPP – 4 – SMEs 项目，由 11 个合作伙伴在三年的时间内，搭建易于访问有成本效益的云制造服务平台，通过云制造服务平台共享学术和工业上的专业知识，实现知识的共享，传播科研成果，提高欧盟的工业应用能力和技术水平。韩国 POST – ECH 机构的研究人员提出通过泛在计算技术设计和制造的理念，即泛在设计和制造（UbiDM），通过泛在计算技术获取产品整个生命周期的信息，进行产品设计和制造。此外，美国微软公司、新西兰的奥克兰大学等研究机构也提出了对云制造的理解和研究。

美国的 Salesforce 公司专门针对企业提供云服务的解决方案，为“云制造”的可行性提供如 SalesForce、CRM、SalesCloud 等简化的技术应用平台。

美国的 MFG. com 平台是目前世界上最大的制造能力交易平台，致力于为全球制造业伙伴提供更加快捷高效的交易平台。该平台汇集了全球范围内的零部件采购商的采购需求，并依据行业的不同，将这些具有即时性和定制性的需求进行分类处理，不仅对市场资源配置进行了有效的优化，而且大大地提高了采购效率。

美国越野赛车制造厂商 Local Motors 通过众包的方式，将汽车的全部个性化设计与制造过程众包给不同社区，仅用 18 个月的时间，就在干洗店大小的微型工厂实现了汽车从图样设计到上市。

美国波音公司采用基于网络协同、制造服务外包的模式，组织全球 40 多个国家和地区的企业协同研发波音 787，采用了制造服务外包的模式，通过网络协同、制造服务外包等方式组织不同地区的不同企业联合研发，使研发周期缩短了 30%，成本减少了 50%。

9.4 我国云制造产业发展概述

中国工程院院士李伯虎在制造服务化的大背景下，于2010年提出了“云制造”这一网络化制造的新模式，得到了我国政产学研各界的广泛关注。国家“863”计划将《云制造关键技术研究》列入重大研究项目，旨在推动云制造理念的“落地”及进一步的推广应用。“十二五”规划中进一步指出云制造是提升我国制造业竞争力和创新能力的新技术。2013年，工信部提出《6+1专项行动》，将“工业云创新服务”列入《信息化和工业化深度融合专项行动计划(2013—2018年)》。2015年，《中国制造2025》战略规划与《互联网+》行动计划被相继提出，而智慧云制造作为互联网时代的一种智慧制造，是实施《中国制造2025》和制造领域的《互联网+》行动计划的一种制造模式和手段。目前，工信部已在北京、上海、天津、江苏和山东等16个省市启动《工业云创新行动计划》，部分省市正开展云制造应用示范。佛山、襄阳、北京、上海和宁波等智慧城市建设中也正在实施智慧云制造。我国智慧云制造正催生一批面向制造企业提供云服务的第三方专业服务商，以及开发实施云服务技术与系统的软硬件企业。云计算、大数据、嵌入式仿真、移动互联网、高性能计算和3D打印等技术的快速发展，为加强我国云制造的智慧化提供了技术支撑。李伯虎院士表示：“目前，我国智慧云制造阶段成果应用初见成效，我国正处于云制造2.0阶段。如：面向航天复杂产品的集团企业云制造；面向轨道交通装备的集团企业云制造；支持企业业务紧密合作的中小企业云制造；支持产业集群协作的中小企业云制造等均已落地，但形成云制造产业链尚需要时间以及各方面的共同努力。”

在理论与技术研究方面，北京航空航天大学、中国航天科工集团第二研究院(航天二院)、清华大学、中科院软件所、北京机械工业自动化研究所、哈尔滨工业大学、重庆大学、华中科技大学、武汉理工大学、机械科学研究总院、北京计算中心、北京理工大学、北京交通大学、西安交通大学、同济大学、东南大学、合肥工业大学、广东工业大学及深圳大学等高校与研究所，率先开展了云制造的核心理论与技术研究工作，对云制造的服务模式、体系架构、关键技术进行了探索，并着手制定云制造的标准与规范。

在集团企业云制造平台研发与应用示范方面，航天二院、中国北车股份有限公司（北车集团）等大型集团企业正在研发与构建集团企业云制造平台，以航天复杂产品和轨道交通装备等重大关键产品制造为应用背景，提供论证、设计、

生产、仿真和管理等制造全生命周期的各阶段服务。

在中小企业云制造平台研发与应用推广方面，北京清软英泰、北京恩维协同科技有限公司、北京慧点科技开发有限公司、东莞华中科技大学制造工程研究院、广东电子工业研究院有限公司和杭州爱科电脑技术有限公司等软件服务商正在研发面向中小企业的云制造平台，并且在模具、服装和柔性材料等行业开展了初步应用。

在云制造运营中心实体建设方面，航天二院和北车集团正在集团内部建立云制造服务中心，统筹利用各种制造资源为集团全生命周期制造业务服务；东莞华中科技大学制造工程研究院和北京恩维协同科技有限公司正在建设面向中小企业的行业服务中心，将其作为第三方服务与运营中心，为中小企业间的制造能力交易提供服务。

云制造的实施是一项长期渐进的战略性系统工程。在企业内部的需求驱动，企业外部的政府政策引导下，基于云制造模式、技术和应用方面已取得了相应的研究成果，不少企业和区域已开始探索和实施云制造，促进了云制造的产业应用，并有效地带动了云制造研究的突破。下面从私有云和公有云两方面枚举和总结云制造的产业应用现状。

1. 私有云

私有云制造平台基于组织内部网构建，主要面向集团企业内部。目前，已有神舟航天软件公司构建了科研协作型的云制造平台、一汽集团构建了生产物流协作型的云制造平台、航天二院构建了以设计和仿真为主线的云制造平台等。

神舟软件公司面向中国航天科技集团，在云计算基础设施的基础上，组建了集团数据中心、共享资源服务中心和信息系统运维管理中心，重点将各种性能计算软件、大型检测试验设备和知识资源等制造资源接入云平台，在集团内部提供多学科协同设计、测试试验资源管理、工艺资源匹配优化、快速排产与动态调度四大类的云服务。目前该平台已在神舟软件公司和航天科技集团内的航天一院、航天五院等部门推广使用。

一汽集团基于集团内部已有的计算资源，进一步构建了高性能云计算基础设施，面向一汽集团下属的技术中心、制造技术部、采购部、解放汽车公司等，重点将设计分析仿真软件、试制设备、大型检测试验设备、知识资源（设计数据、供应商资源、物料编码、备件信息）、物流运输设备等作为平台的接入资源，在集团内部提供协同设计、试制试验、设备备件、采购交易和物流运输五大类服

务。该云平台已在一汽集团下属的几个部门实际运行，取得了较好的应用效果。

航天科工集团二院搭建的面向复杂航天产品集团企业的云制造服务平台，封装了十多种、300 套机械、电子、控制等多学科大型设计分析软件及其许可证资源，总装联调厂等三个厂所的高端数控加工设备、企业单元制造系统及制造各阶段专业能力，实现了基于云制造的资源共享使用模式、协同设计仿真模式、基于三维模型的云制造跨阶段协同模式、面向制造能力的云排产模式。该平台支持包括总体部、专业所、总装生产厂等 7 个以上二级主体单位之间进行资源整合、共享，以及开展论证、设计、仿真、生产阶段的协同研制。打破了以往主体单位之间、型号之间的壁垒，形成了若干新的研制模式，型号的数字化研制能力得到了有效提升，制造资源利用率显著提高。

中国北车集团搭建的面向轨道交通装备集团企业的云制造服务平台，通过资源整合、需求整合和按需优化配置，建立了公司总部（决策中心）—事业部（利润中心）—业务单元（成本中心）的统一管控模式，将分散建设阶段快速转型到统一建设阶段，实现市场、技术、采购、生产和财务的统一运作。该平台集成了资源管理器、构建管理器、流程管理器、云企业管理器和功能管理器等，可实现制造资源虚拟化、虚拟制造资源组合和管理、制造服务管理等功能，实现了轨道交通装备产品设计、制造、管理的高度协同与深度集成。

2. 公有云

公有云平台基于因特网构建，面向公共社会。在公有云的平台层次，已有中国模具云平台、中小企业云制造服务平台、云应用中心、国云在线（汇聚系统软件提供服务和服务的平台）、刀网（传统的刀具制造行业网站向云制造服务平台转型的行业平台）等一些已经或接近商业化运营的云制造平台；在公有云的服务内容层次，已有恩维、Cisco、SAP、Sales force、阿里巴巴等一些专门提供基础设旅服务或软件服务的制造云服务提供商，例如，恩维、SAP 等提供生产制造管理、供应链管理等制造信息化软件，阿里巴巴、Cisco 等提供高性能服务器、存储、带宽等基础设施。

北京恩维协同科技有限公司研发了支持企业业务紧密合作的中小企业云制造服务平台。该平台已经在装备制造、服装、铸造、陶瓷、灯具照明、家具及电器等行业领域展开了应用，已经为 500 余家企业提供“云管理”服务应用。该平台面向广大中小企业，提供企业注册展示、制造云服务注册发布、需求发布、云服务匹配和服务评价等功能。该平台由服务提供方直接封装并发布云服务，由服

务提供方自主决定服务的交易价格，平台运营商不介入服务封装和交易的具体过程。

东莞华中科技大学制造工程研究院等单位以模具、柔性材料制造行业的中小企业产业集群为典型行业对象，研发了支持产业集群协作的中小企业云制造服务平台。该平台实现了地区加工能力、设计能力和制造设备等各种制造资源的合理配置，催生跨行业融合的新型服务业，同时也可解决产业升级、产品设计能力、产品质量、市场竞争力、生产规模和速度等方面的一系列问题。该平台的主要功能包括制造服务/能力注册、服务智能搜索、服务交易、服务评价、模板管理等功能，平台已在模具、柔性材料等行业展开了应用。

浙江大学等单位研发了针对宁波模具行业的云制造服务平台。该平台目前主要面向宁波地区的模具行业提供模具生命周期相关的云服务，支持任务管理、基于任务的服务组合、服务检索和交易、服务评价、资源管理、服务管理、监控和分析等功能。该平台由资源提供方提供资源给平台运营商，由平台运营商集中封装、发布和管理云服务，平台运营商介入服务封装和交易过程，可决定服务交易的价格和交易过程，因此，该平台对运营商及其业务人员的要求较高，资源提供方的权力相对较小。

杭州新迪数字工程系统有限公司开发的 3DSource 制造业云应用中心是在 3DSource 网站资源的基础上，运用最新的云计算技术所构建的云应用中心。3DSource 制造业云应用中心在原先 150 多万个标准零部件和企业零部件三维模型资源的基础上，汇集了 20 000 多个应用，通过客户端来提供在线服务。用户可以将自己的应用资源上传到云应用中心，经运营商审核批准后，进行发布、共享及盈利。应用中心提供分类树浏览和关键字检索两种应用服务获取方式。云应用中心是传统的平台向云制造服务平台过渡的形态，目前主要是提供三维模型、工程图样、工具软件、设计手册和标准等软资源类的服务，功能还比较简单，但已商业化应用。

9.5 存在的问题

1. 缺乏行业整体布局和统筹规划

云制造应嵌入在工业产业链各个环节中，其中涉及硬件制造商、软件开发商、系统集成商、电信运营商和互联网信息服务商等众多类型企业。因此，云制造的发展需要工业产业链各个环节及多种类型的企业共同推动。首先，我国包括

工业云在内的行业云应用大多是以试点、专项和示范等方式推动发展的，而对应用间的内在关联及其在产业链各环节中所起的作用等方面，尚缺少国家宏观层面的系统规划和整体布局。其次，部分地方由于对整个行业发展认识欠缺、应用需求调研不够及发展预期不明确，仅以争取试点、专项和示范为目标，盲目追求热点和投资，从而导致地方行业云的重复建设。最后，工业云服务企业大都缺乏紧密的技术合作和明确的产业分工，都在试图打造以本企业为核心的工业云服务领地，导致工业云应用整体服务规模小、投资不足、重复建设多、服务存在盲点等突出问题。

2. 工业云重建设、轻服务

云制造发展的基础归根结底仍在企业，切入点和结合点也在企业。工业云发展的广度、深度和速度在很大程度上也取决于相关企业的积极性、主动性和创造性。目前，随着工业化和信息化的融合发展，我国大部分企业的信息化意识明显提高，但总体上还不深入，工业云应用和服务意识有待提高。从国内外行业云投资情况看，目前国内仍以硬件为主，各行业投资硬件份额占比均超过 50%，而国外则以应用服务投资为主，硬件投资份额占比均低于 30%。究其原因主要是，国内企业“重建设、轻服务”的工业投资建设模式在一定程度上阻碍了企业云服务的应用与发展。从国内企业的工业云服务建设情况看，虽然信息化意识较高的央企在组织机构、投入预算、规划和人员培训等方面已做出较为充分的准备，基础设施水平有所提高，应用环境有所改善，但从 2014 年的投资数据看，硬件投入占总投资的比例为 37.24%，软件投入占总投资的比例为 29.17%，服务占总投资的比例为 33.59%，可见，硬件投资仍高于国外硬件投资水平，服务投资占比仍然较低，未来应重视工业云的应用和服务。

3. 安全信任系统尚未建立

安全性、稳定性和网络服务质量是工业企业在选择云制造服务时必须考虑的三大要素。据工信部电信研究院 2013 年的调研数据显示，我国云计算用户首先关注的是云服务的稳定性、安全性和网络质量，其次是云服务价格、售后服务满意度、云服务的全面性和云服务商的品牌知名度等其他因素。究其原因是我国行业云应用服务安全信任体系还不完善。目前，我国仅出台了对个人信息收集、使用、处理等行为进行约束和管理的法律法规，而针对数据隐私保护等信息安全及数据保护方面的法律法规较少，还很不完善。同时，云制造用户与服务商之间的业务往来处于摸索阶段，其中涉及企业运营中的重要数据缺乏法律保障，导致用

户对安全性的担忧。另外，国内企业针对云制造应用的安全防御技术缺乏深入研究，一些重要的工业信息系统和控制系统大都采用国外的技术和产品，对于系统漏洞和后门检测尚缺乏有效的处置手段。部分工业云服务的基础设施也存在一定安全隐患，据国内领先云服务器安全供应商安全狗 2015 年 2 月发布的《2014 年中国互联网服务器安全报告》显示，虽然不健康服务器占比在逐年下降，如 2014 年总服务器数为 489 570 台，其中不健康服务器占比为 42%，与 2013 年相比下降了 20%，但亚健康服务器的比例又明显上升，而增幅达 14.3%，随着更多用户从租用主机模式向更加方便的云服务器上迁移，安全性依然堪忧。

4. 服务需求评估体系尚未形成

在世界各国争取工业领域自主创新、大力推动国际化协作与资源配置、积极促进制造业优势产业链和区域特色产业集群形成的大环境下，我国作为制造业大国，运用云计算等新一代信息技术产业变革机遇提升工业的国际竞争力，已成为当前经济发展的重要目标。这种新兴的发展环境和产业变革趋势给云制造的应用发展构造出宏伟的发展蓝图和广阔的市场空间。同时，从云制造的具体应用看，云制造的需求空间非常广阔，如工业化和信息化深度融合领域、生产性服务业创新领域等都有大量需求，尤其突出体现在信息化建设资金缺乏的中小微企业中。然而，对工业云已有用户及潜在用户的业务内容、服务需求范围、服务应用特点等，目前工业云供应商及平台服务提供商还缺少深入了解的渠道，服务需求评估体系尚未形成。

5. 应用推广面临一定障碍

云计算为信息共享和业务协同提供技术上的可行性，工业云的应用发展则需要基于云计算的服务模式，推动信息资源整合，创新管理体制。但当前一些部门只是将云服务纳入到其采购目录，由于相关配套制度和管理机制尚不完善且缺少具体可行的标准规范、严格的采购管控、客观的评估认证和及时到位的后期管理措施，导致工业云的应用推广在一定程度上受到限制。进一步看，当前我国信息化建设中，购买外包服务的做法始终未被广泛认可，但过多的自建已带来严重的重复建设和资源浪费。同时，自有系统中产生的业务数据更被各部门视作立家之本，不愿公开用于行业内的数据整合挖掘与应用。另外，有关信息化建设部门对云计算的推广应用多采取观望策略，尚未发挥其引领作用。这些因素均给工业云的应用推广带来一定障碍。

9.6 发展重点

1. 云制造服务平台的建设

云制造服务平台实现电子交易的核心是制造服务，而不是产品；或者说，交易的不是产品本身，而是制造产品或提供服务的能力。该平台需要能够全面、准确、结构化地描述各类制造服务，实现制造服务的精确搜索，并通过广泛发展会员，形成制造服务的网上市场，建立服务双方的商誉评价体系、支付体系和社区交流平台。云制造服务平台的建设由应用需求牵引，面向制造企业与产品用户两类对象，能实现产品制造全生命周期活动中的资源与能力服务化及制造系统中三要素（人/组织、经营管理、设备/技术）与五流（信息流、物流、资金流、知识流、服务流）的集成与优化。

2. 云制造技术的“落地”实施

云平台在推广和应用过程中仍然存在许多问题，包括技术上的难题和管理上的难题，例如：如何让用户按需、方便地获取和使用云服务，使用户乐于使用云制造平台，提高用户点击度和热度；如何让用户按需、方便地建设和管理自己的服务空间及整个制造云，使平台可持续地有序地发展壮大。具体包括适合云制造环境的云服务检索方法、组合方法、设计方法、研发方法，资源的虚拟化和服务化方法，云服务的演化及演化管理方法、标准化方法、分类方法、评价方法等。云制造的“落地”将是一个长期的阶段性的渐进过程，需要依靠政府、产业界、学术界多方面的联合与共同努力。

3. 云制造平台的安全保障

为了保证“云”中信息在存储和传输过程中不被非法下载、泄露或恶意篡改，应加快信息安全基础设施建设，建立信息的安全存储、信息操作权限管理和用户访问控制、主动防御技术，保证信息安全，使云中的企业或个人可以在各种网络应用中方便地使用加密、数字签名技术和信息隐藏技术，建立自主可控的安全智慧云制造系统。保证数据的机密性和完整性，为用户和国家营造安全的云制造环境。

9.7 发展趋势

1. 催生无数的“蚂蚁工厂”，开启制造业众包时代

个性化需求以及购买行为的改变（网上购物平台）等因素正在要求制造业

的生产线更加灵活。云制造与 3D 打印的结合将催生无数“蚂蚁工厂”，每一台 3D 打印机都是一只小蚂蚁，聚集起来便能够形成巨大的柔性制造能力。由 3D 打印技术和新型设计技术推动的未来商业模式之一将是云制造。云制造有能力改变传统的大规模生产制造模式，产品生产的组织模式、研发模式和制造模式都将产生很大的变化。云制造利用网络将全球资源纳入其中，企业以及个人用户将无须投入高昂的成本购买加工设备等资源，通过云平台来购买租赁制造能力，随时按需获取制造资源和能力服务，任何有兴趣的个体和群体均能参与产品的生产过程，从而实现全球范围内的资源优化配置，开启制造业众包时代。

2. 重构传统企业构架，形成面向应用的开放行业云

云制造模式会对现有的企业构架形成颠覆性的冲击，企业内部的发展理念、制造模式、制造手段、技术体系、人员体系以及管理模式都将发生重大变革。在新技术、新模式、新应用的驱动下，云制造平台的服务范围将从私有制造云（面向企业自身）向公有制造云（面向行业、区域中小企业）发展，行业云将逐步成为在私有云、公有云和混合云之后的另外一个市场重要增长点。

9.8 发展对策

1. 做好云制造发展顶层设计

在把握云制造发展规律的基础上，结合当地制造业发展基础与特点，进行云制造发展顶层设计，才能有目标有方向地逐步推进云制造落地。在顶层设计的指导下，依据云制造不同发展阶段的本质与特点，制定相应的行动计划，比如对企业进行云服务与云制造的理念普及与培训、企业关键业务流程信息化向云平台迁移、企业间信息协同与资源协同试点示范、云制造公共服务平台的营销推广、通过举办高端专业会议活动提升当地云制造全球影响力等。

2. 制定相应的组织管理机制与法规保障

在充分研究世界云制造案例的经验教训基础上，梳理出云制造机制法规的先进模式，从而选择制定出符合当地发展实际的云制造运营管理模式与相关法律法规，建立由政府主管机构、研究机构、软件厂商和用户共同组成的云制造产业联盟，形成行之有效的沟通、行动机制，消解相关标准、安全、知识产权保护等难题，调动企业参与的积极性，保障制造信息安全。

3. 建立需求驱动的良性发展体系

围绕转变经济增长方式、增强企业市场竞争能力的目标，走良性循环发展的路线。从增强企业市场竞争能力的应用需求出发，由需求驱动来建立系统，通过系统建设带动技术及产品研发，通过技术及产品的发展进一步促进系统的改进完善，通过系统进一步推动新的应用，如此周而复始，进入良性循环。

4. 依据复杂系统工程内涵实施云制造系统

云制造系统是一个复杂的系统工程，在实施中要坚持“效益驱动，总体规划，突出重点，分步实施”的指导思想；要密切结合各个企业的实际需求与情况，制定好发展规划与阶段性实施方案；要重视企业产品研制全系统、全生命周期活动中的人或组织、经营管理、技术（三要素）及信息流、物流、资金流、知识流、服务流（五流）的集成优化。

5. 建立云制造技术研究队伍与发展基地或中心

云制造系统技术是制造业信息化技术的延伸与发展，是正在发展中的多学科综合性技术，需要建立专门的研究队伍与发展基地或中心。在技术研发中，要持续地重视新兴信息化技术与工业化技术的深度融合；要不断总结和突出云制造的技术与应用特色，开展研发工作。

6. 突出发挥“政、产、学、研、金、用”团队力量

明确政府、企业、高校以及各类资本在云制造发展体系中的分工与作用，形成政府创造环境，产业创造价值，研学界提供智力和技术支撑的资本、技术、信息良性运转平台，创造开放共享的发展环境。

参考文献

[1] 李从东，洪宇翔．云制造环境下的知识产权问题研究［J］．现代管理科学，2014（12）：70－72.

[2] 齐二石，李天博，刘亮，等．云制造理论、技术及相关应用研究综述［J］．工业工程与管理，2015（1）：8－14.

[3] 杜宝瑞，王勃，赵璐，等．航空智能工厂的基本特征与框架体系［J］．航空制造技术，2015（8）：26－31.

[4] 李伯虎，张霖，任磊，等．云制造典型特征、关键技术与应用［J］．计算机集成制造系统，2012（7）：1345－1356.

[5] 王时龙，郭亮，康玲，等．云制造应用模式探讨及方案分析［J］．计算机集成制造系统，2012（7）：1637－1643.

[6] 李伯虎．智慧云制造是实施《中国制造2025》一种制造模式和手段［N］．中国电子报，2015－05－29（2）．

[7] 李伯虎．“互联网＋”时代的智慧云制造2.0［N］．中国信息化周报，2015－07－06（7）．

[8] 黄沈权．制造云服务按需供应模式、关键技术及应用研究［D］．杭州：浙江大学，2013.

[9] 杨男．面向中小企业的云制造平台关键技术研究［D］．南京：南京理工大学，2013.

[10] 张倩．云制造若干关键技术及其应用研究［D］．广州：华南理工大学，2013.

[11] 李伯虎，张霖，王时龙，等．云制造——面向服务的网络化制造新模式［J］．计算机集成制造系统，2010（1）：1－7＋16.

[12] 王田苗．云制造先从简单处做起［J］．中国制造业信息化，2010（6）：24－25.

[13] 吴李知．抢位云制造 掌握工业核心平台控制权［J］．现代国企研究，2013（12）：40－43.

[14] 付伟．云制造若干关键技术研究及其原型系统初步开发［D］．杭州：浙江大学，2012.

[15] 朱吕．云制造环境下多领域建模与仿真研究［D］．广州：华南理工大学，2014.

[16] 周洪宇 鲍成中．大时代——震撼世界的第三次工业革命［M］．北京：人民出版社，2014.

[17] 李伯虎．智慧云将改变制造模式［J］．中国科学报，2015－01－29（1）．

[18] 李伯虎，张霖，任磊，等．再论云制造［J］．计算机集成制造系统，2011，17（3）：449－457.

第 10 章　工业大数据

10.1　工业大数据概述

近些年，由于计算机、物联网和传感技术的发展，“一切皆可数据化”的思维开始在现实生活中流行，数据的产生方式也由“人机”“机物”的二元世界向着融合社会资源、信息系统以及物理资源的三元世界转变，数据规模呈膨胀式增长。1990 年，全球第一个 Web 服务器诞生，人们在软件支持下发布包括文本、表格、图片、音频、视频的碎片化超媒体信息。随后 20 多年里，信息在各个领域中不断增多。互联网领域中，谷歌搜索引擎的每秒用户量达到 200 万次，Twitter 每天的发布量已经超过了 3.4 亿次；科研领域中，仅某大型强子对撞机在一年内积累的新数据量就达到 15 PB 左右；电子商务领域中，作为世界连锁性企业沃尔玛，其每小时可处理的客户交易可超过 100 万笔，相应为数据库注入超过 2.5 PB 的数据；航空航天领域中，仅一架双引擎波音 737 在横贯大陆飞行的过程中，传感器网络便会产生近 240 TB 的数据。综合各个领域，目前积累的数据量已经从 TB 级上升至 PB、EB 甚至已经达到 ZB 级别。预计到 2020 年，全球的数据量将达到 35ZB，其数据规模已经远远超出了现有计算机所能够处理的量级，而且全球的数据量正以每 18 个月翻一倍的速度呈膨胀式增长。计算、存储、交互等各类数据库的不断膨胀，变成如今的“大数据”。

“大数据（Big data）”这一词语并非近几年才出现，该词最早是由美国著名未来学家 Alvin Toffer 在 1980 年出版的《第三次浪潮》一书中提出。Alvin Toffer 表示：“如果说 IBM 的主机拉开了信息化革命的大幕，那么‘大数据’才是第三次浪潮的华彩乐章。”2000 年，“大数据”一词正式出现在学术期刊中，Diebold 所撰写的一篇关于金融建模的文章中首度提及此词。2008 年，《Nature》推出了大数据专刊，对其展开探讨。2011 年，《Science》也推出类似的数据处理专刊。大数据并不等同于大规模数据，Viktor Mayer – Schnberger 和 Kenneth Cukier 在《“大数据”时代》中提出：大数据应具有 4V 特性，即 Volume（数据量大）、Velocity（数据处理速度快）、Variety（数据具有多样性）和 Value（数据价值密度低）。IBM 公司其后又补充了 1 个特点，即 Veracity（真实性）。根据我们的理解，大数据除了上述 5V 特性外，还具有 Vast（广域性）。

大数据是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察发现力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。从宏观世界角度来讲，大数据是融合物理世界（Physical world）、信息空间和人类社会（Human society）三元世界的纽带。物理世界通过互联网、物联网等技术形成了在信息空间中的大数据反映，人类社会借助人机界面、脑机界面、移动互联等手段在信息空间中产生自身的大数据映像。从信息产业角度来讲，大数据已成为信息技术领域新的增长点。Gartner 将“大数据”技术列入 2012 年对众多公司和组织机构具有战略意义的十大技术与趋势之一，预测到 2016 年全球在大数据方面的总花费将达到 2 320 亿美元。未来工业将成为大数据发展的重要领域。从社会经济角度来讲，大数据是第二经济（Second economy）的核心内涵和关键支撑。第二经济的概念是由美国经济学家 Auther 在 2011 年提出的。他指出，由处理器、链接器、传感器、执行器以及运行在其上的经济活动，形成了人们熟知的物理经济（第一经济）之外的第二经济（不是虚拟经济），其本质是为第一经济附着一个“神经层”，使国民经济活动能够变得智能化。Auther 预测，到 2030 年，第二经济的规模将逼近第一经济，而第二经济的主要支撑是永不枯竭并不断丰富的资源产业——大数据。借助于大数据，未来第二经济下的竞争将不再是劳动生产率而是知识生产率的竞争。目前，大数据在金融、互联网、电商、在线广告等领域已有深入应用。在银行和保险领域，大数据分析已不鲜见；在互联网行业，公司通过大数据技术进行商品推荐以及用户体验分析；在零售行业，大型购物中心和地产商通过部署线下 wifi 和监测点，收集用户、访客相关的数据，从而有针对性地进行营销推广。未来工业将成为大数据应用的重要领域。大数据时代的到来颠覆了工业界、学术界对传统数据的认知，同时也引起了数据获取、存储、分析、挖掘以及可视化等技术的变革。在大数据背景下，新型数据库的开发，大规模存储设备的研制，云存储服务方案的提出等大数据相关技术的更新换代，为大数据价值的快速、有效挖掘提供了技术基础。

工业大数据从字面上理解，是指在工业领域信息化应用中所产生的大数据。同消费、商业中的大数据概念相比，工业大数据面临着更多的挑战。随着信息技术在工业企业产业链各个环节的逐步渗透，条形码、二维码、RFID、工业传感器、工业自动控制系统、工业物联网、ERP、CAD/CAM/CAE/CAI、互联网、移动互联网、物联网等技术在工业领域的应用，工业企业所拥有的数据量和数据类型也日益丰富。同时，工业生产线长期处于高速运转状态，由工业设备所产生、

采集和处理的数据量远大于企业中计算机和人工产生的数据，对数据的实时性要求也更高。在数据量上，一些大型的工业企业，比如生产个人护理产品的 CPG 公司，与 Facebook、Google 等互联网公司一样，面临着不断增长的数据存储的压力。CPG 公司每 33ms 产生 5 000 个数据样本，也就是每秒产生 152 000 个样本，每分钟有 900 万个样本，每小时就是 5.45 亿个样本，每个轮班则多达 40 亿个样本，每年 4 万亿个样本。显然，海量数据存储的要求远远超过了传统数据管理系统的能力范围。此外，管理工业大数据的困难不仅限于大数据量。工业数据的来源多样，且具有不同的格式和标准，有来自于各种管理系统的关系型数据，还有生产流程数据、视频监控数据等非关系数据，能存储的非结构化或半结构化数据。在不同的信息来源之间，就算是同类型数据也有可能因为软件厂家不同，设备生产商不同等等因素，数据的格式完全不同，经常存在孤立的信息“岛”。总体来说，工业大数据具有大体量、多源异构、分布广泛、价值密度低、动态增长等几个特点，因为这些与传统数据不同的特点，使得工业大数据的数据管理面临着新的挑战。

目前，制造业对数据的利用水平明显落后于其他行业，尤其是面向 B2C 的企业。B2C 典型的代表电商公司，能通过大数据技术追踪消费者浏览商品的行为，从而推算出需要的商品，并给出其他消费购买的概率，以此引导购买行为。而制造企业相对比较传统，部分企业 ERP 系统仅管理单一产品线，企业收购与兼并后，资源的整合成为问题，部分企业工厂内部出现“信息孤岛”。在麦肯锡发布的《大数据：下一个竞争、创新和生产力的前沿领域》研究报告中表示：在制造业领域，大数据工具应用带来的效益将渗透于整个制造业价值链，主要表现在研发、供应链管理、生产、售后服务等环节，这使得制造业减少了开发周期，优化了装配过程、增加了产量并满足了客户的需求。传统的制造业正面临着大数据的冲击，在产品研发、工艺设计、质量管理、生产运营等各方面都迫切期待着有创新方法的诞生，来应对工业背景下的大数据挑战。

10.2 核心技术

10.2.1 工业大数据采集与预处理

工业大数据的一个重要特点就是数据源多样化，数据类型非常复杂。工业数据平台不再只关注于由工厂设备采集回来的数据，及生产管理软件、企业资源管理软件等产生的数据，日常流程日志、视频监控数据、故障诊断数据等所有与工

业生产运作相关的数据都转变为分析的对象。工业大数据的多样性、复杂性，数据来源的异构性，决定了工业大数据的集成面临着各种困难。工业数据结构中以结构化数据为主，非结构化和半结构化的数据同时并存。同时，由于企业在构建信息系统时，采用的数据库管理系统和数据库设计方式不同，在结构化数据之间也存在异构问题，也就是异构数据库集成问题。因此，工业大数据处理的第一步是从数据源采集数据并进行预处理和集成操作，为后继流程提供统一的高质量的数据集。现有数据抽取与集成方式可分为：基于物化或 ETL 引擎方法、基于联邦数据库引擎或中间件方法、基于数据流引擎方法和基于搜索引擎方法。由于大数据的来源不一，异构数据源的集成过程中需要对数据进行清洗。研究大数据辨析、抽取、清洗技术等预处理技术，以消除相似、重复或不一致数据。

10.2.2 工业大数据存储与管理

传统的工业数据存储所用的关系型数据库已经难以适用于工业大数据时代，主要原因是：传统的数据库倾向于采用纵向扩展的方式，这种方式下，性能的增加速度远低于数据的增加速度，而工业大数据的数据远远超出单机处理能力。为了具有更好的扩展性，工业大数据所采用的数据库系统应该是横向发展的；工业大数据的存储与管理需要对上层应用提供高效的数据访问接口，存取 PB 甚至 EB 量级的数据，并且对数据处理的实时性、有效性提出更高要求，传统常规技术手段根本无法应付。某些实时性要求较高的应用，如状态监控，更适合采用流处理模式，直接在清洗和集成后的数据源上进行分析。而大多数其他应用需要存储，以支持后续更深度数据分析流程。高效的工业大数据存储与管理构架，涉及重复数据删除、编码优化、分布式存储管理架构，高吞吐量存储、数据压缩、数据索引、查询优化、数据缓存、时空关联与机理模型下的数据质量检查与修复、前端装备实时数据与后台信息系统关系型数据的集成、基于对象的数据连接、相似性连接等大数据融合。

10.2.3 工业大数据计算模式与系统

工业大数据计算模式指根据工业大数据的不同数据特征和计算特征，从多样性的工业大数据计算问题和需求中提炼并建立的各种高层抽象模型，它的出现有力推动了大数据技术和应用的发展。大数据处理的主要数据特征和计算特征维度有：数据结构特征、数据获取方式、数据处理类型、实时性或响应性能、迭代计算、数据关联性和并行计算体系结构特征。根据大数据处理的多样性需求和上述特征维度，目前已有多种典型、重要的大数据计算模式及相应大数据计算系统和

工具。主要研究大数据查询分析计算、批处理计算、流式计算、迭代计算、图计算、内存计算、分布式计算、云计算，面向（或集成）异构数据的计算，容错计算（解决互相矛盾的数据计算问题）。

10.2.4 工业大数据分析与挖掘

由于工业大数据环境下数据呈现多样化、动态异构，而且比小样本数据更有价值等特点，需要通过大数据分析与挖掘技术来提高数据质量和可信度，帮助理解数据的语义，提供智能的查询功能。数据分析与挖掘就是从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的实际应用数据中，提取隐含在其中的、人们事先不知道的、但又是潜在有用的信息和知识的过程。典型方法包括：机器学习方法、统计方法、神经网络方法和数据库方法。综合工业大数据的特点，需改进已有数据挖掘和机器学习技术，开发数据网络挖掘、特异群组挖掘、图挖掘等新型数据挖掘技术；突破基于对象的数据连接、相似性连接等大数据融合技术；突破工业大数据并行分析处理技术、机理模型建模技术、知识推理技术与仿真模型。

10.2.5 大数据可视化分析

大数据时代，数据的数量和复杂度的提高带来了对数据探索、分析和理解的巨大挑战。工业大数据分析是大数据处理的核心，但是用户往往更关心结果的展示。如果分析的结果正确但是没有采用适当的解释方法，则所得到的结果很可能让用户难以理解，极端情况下甚至会误导用户。由于工业大数据分析结果具有海量、关联关系极其复杂等特点，采用传统的解释方法基本不可行。目前常用的方法是可视化技术和人机交互技术。可视化技术能够迅速和有效地简化与提炼数据流，帮助用户交互筛选大量的数据，有助于用户更快更好地从复杂数据中得到新的发现。用形象的图形方式向用户展示结果，已作为最佳结果展示方式之一率先被科学与工程计算领域采用。常见的可视化技术有原位分析、标签云、历史流、空间信息流、不确定性分析等。

10.2.6 大数据隐私与安全

当前大数据的发展仍然面临着许多问题，安全和隐私问题是人们公认的关键问题之一。其中，隐私问题由来已久，计算机的出现使得越来越多的数据以数字化的形式存储在计算机中，互联网的发展则使数据更加容易产生和传播，数据隐私问题越来越严重。大数据在存储、处理、传输等过程中面临安全风险，具有数据安全和隐私保护需求。而实现大数据安全与隐私保护，较其他安全问题更为棘手。目前主要研究解决方法有：文件访问控制技术、基础设备加密、匿名化保护

技术、加密保护技术、数据水印技术、数据溯源技术、基于数据失真的安全保护技术、基于可逆的置换算法、身份认证和访问控制技术、量子加密技术等。

10.3 国外工业大数据产业发展概况

在全球范围内的大数据产业发展浪潮中，美国凭借传统 IT 优势和软硬件核心技术基础占据了产业链前端。以 IBM、甲骨文、EMC、英特尔、微软、谷歌等为代表的一批美国企业，通过并购、整合、吸收，先期推出了各种面向大数据的服务产品，抢占搜索服务、数据库、服务器、存储设备、数据挖掘等产业链的核心价值环节。美国政府 2012 年发布《大数据研究与发展计划倡议》，斥资 2 亿美元用于大数据研究，宣布启动对大数据的研发计划，将“大数据战略”上升为最高国策，大数据成为美国国家创新战略、国家安全战略、国家 ICT 产业发展战略以及国家信息网络安全战略的交叉领域、核心领域。欧洲以法国电信、施耐德、SAP 为代表的企业积极投资大数据产业，发展重点在大数据通信及其他公共服务、大数据的数据中心绿色节能应用、实时数据计算等方向。日本、韩国、澳大利亚等国家则更多停留在政府引导和基础研究环节，企业对大数据的投入落后于美国。自 2012 年起，日本总务省、文部科学省、经济产业省等部门先后推出多项战略计划，投入近 100 亿日元推进大数据技术研发与产业发展，颁布了新 IT 战略——“创建最尖端 IT 国家宣言”，明确提出加强大数据技术在医疗、交通等公共领域的应用。澳大利亚和韩国政府也分别通过发布“公共服务大数据战略”、新建大数据研发中心等举措积极支持大数据研发。据全球领先的咨询分析机构 Wikibon 于 2014 年 2 月发布的《大数据企业营收和市场预测（2013—2017）》报告，2013 年全球大数据企业（软件、硬件及服务）营业收入为 186 亿美元，同比增长 58%。自 2011 年起，大数据市场的复合年增长率约为 38%，到 2017 年预计营业收入将超过 500 亿美元。

在工业大数据的应用方面，美国通用汽车公司通过其 OnStar 系统收集车辆诊断数据和其他信息，结合大数据分析技术，了解客户需求偏好以及使用习惯，为车主定制个性化的保险方案，并改进自身产品设计、汽车性能以及营销方案，加强与消费者的关系。目前，该公司已将大数据的创新方法成功地应用于个性化营销、远距通信以及智能汽车等方面。所开发的基于 Hadoop 的数据中心拥有 37 000个服务器和 8 TB 的光纤数据，已有 3 PB 的数据存储量，包括：产品研发、采购、物流、质量、制造、客户服务、销售、市场行销、财务和其他种类的

数据。

美国福特汽车公司的大数据分析技术已经渗透到每一个活动中，商品价格预测、客户需求挖掘、生产规划、零部件采购以及产品设计开发与改进等环节均有大数据的身影。大数据计划的应用使得福特公司在 2009 年实现了 4 年来的首次盈利。目前，福特提供的三种混合动力汽车上均配备了嵌入式调制解调器，客户可以选择开启，从而把车辆相关数据传回制造商，以了解客户的驾驶习惯，包括如何、何时以及何处充电。数据通过服务器端处理并返回给移动应用端，从而通知驾驶者汽车电池的续航状况、最近的充电站以及其他车辆性能数据。这种以客户为中心的大数据应用技术实现了宝贵的新型产品创新和协作方式。司机获得最新有用信息的同时，位于总部的工程师汇总了车主关于驾驶行为的信息，以深入了解客户，制定产品改进计划，并实施新产品创新。另一方面，电力公司和其他第三方供应商也可以分析数百万英里的驾驶数据，以决定在何处建立新的充电站，以及如何防止脆弱的电网超负荷运转。

波音公司的飞机上，发动机、燃油系统、液压和电力系统等数以百计的变量数据组成了飞机的在航状态，这些数据不到几微秒就被测量和发送一次。以波音 737 为例，发动机在飞行中每 30min 就能产生 10 TB 数据。这些数据不仅仅是未来某个时间点能够分析的工程遥测数据，而且还促进了实时自适应控制、燃油使用、零件故障预测和飞行员通报，能有效实现故障诊断和预测。在马航 MH370 失联客机搜寻过程中，波音公司获取的发动机运转数据对于确定飞机的失联路径起到了关键作用。根据《华盛顿邮报》的报道，近期波音公司与卡耐基梅隆大学的计算机科学学院达成一项为期 3 年的合作协议，将花费 7 500 万美元共同建立“航空数据分析实验室”（Aerospace Data Analytics Lab），利用人工智能（AI）和大数据来对波音飞机进行全面升级，用机器学习的方法来优化波音飞机的运行，用数据来指导设计、建造和运营等工作。

位于美国亚特兰大的 GE 能源监测和诊断（M&D）中心，每天收集来自全球 50 多个国家上千台 GE 燃气轮机的数据，数据量高达 10G。客机在万米上空翱翔时，发动机的排气温度、振动信号等实时运行数据会被传感器记录，通过卫星传送回地面，GE 的工程师据此判断其运行状态是否正常，并及时提醒航空公司对可能出现的故障进行诊断和维修。2013 年，通用电气推出了“Predictivity”大数据与分析平台，该平台由 Proficy Historian HD（第一个基于 Hadoop 的历史数据管理软件）提供支持，在一个安全、封闭的架构中进行实时数据管理、分析和机器

与运营的连接，让全球重要行业能够从被动的工业运营模式转向预测模式。该平台能够支持工业互联网并把大数据转化为实时信息，平台的推广应用将惠及全球主要行业，包括航空、医疗、能源生产与分配、交通运输及制造业。

西门子公司采用 Teradata 统一数据架构实现大数据分析工业化，优化服务流程及产品质量，部署跨部门研究的测试、开发整合平台。Teradata 统一数据架构能够整合来自传感器、制造流程、机器生成数据，以及各种源系统的数据，让企业将多结构化大数据等工业数据与传统数据相结合进行分析。西门子公司通过获取数据的最高价值，为进一步创新奠定了坚实基础。

风力涡轮机制造商 Vestas 通过对天气数据及涡轮仪表数据进行交叉分析，从而对风力涡轮机布局进行改善，由此增加了风力涡轮机的电力输出水平并延长服务寿命。特斯拉汽车的功率能做到 85kW · h，最高时速达 200km。相比其他汽车公司，特斯拉在汽车电池上使用了大量的传感器和软件，并利用大数据分析技术，实时测试 7 000 多个电池组的电压，实现自动的调节电流，减少电池发热。

10.4 我国工业大数据产业发展概况

近日，独立调研机构 Vanson Bourne 对 11 个国家中来自零售业、金融服务、医疗卫生、银行业、电信业、保险业和政府的 1 000 名 IT 管理者进行了调查。结果显示，大数据战略为 95% 的中国企业带来了收益，96% 的中国大型企业已经或计划在未来一年内实施大数据项目。最值得注意的是，中国区参与调查的全部企业正在或将会利用大数据进行目标更精准的市场和销售活动。IT168 大数据应用与趋势专项调查数据显示，2013 年，我国每月新增数据规模在 500G 以上的企业已由 2012 年的 16.67% 增长到 18.11%；已经部署大数据的企业达到 21.89%，计划 1 年内部署的占 27.92%。另外，据国际数据公司（IDC）发布的《数字宇宙》研究报告显示，到 2020 年全球新建和复制的信息量将超过 40ZB（十万亿亿字节），是 2012 年的 12 倍；而中国的数据量则超过 8ZB，比 2012 年增长 22 倍。数据量的飞速增长带来了大数据技术和服务市场的繁荣发展。据统计数据显示，2013 年，我国大数据产业市场规模为 34.3 亿元，同比增长率超 100%。2014 年，大数据市场规模约为 84 亿元，其中大数据软件产值为 35.6 亿元，占比约 42%；大数据硬件产值达 28.5 亿元，占比约 34%；大数据服务产值为 19.9 亿元，占比约 24%。预计到 2016 年，我国大数据市场规模将达 269.8 亿元，到 2018 年，市场规模维持 40% 左右的高速增长。

市场规模的迅速增长，新技术新应用的层出不穷，我国大数据产业的发展基础和条件已基本具备。我国政府对大数据的重视程度日益凸显，各级政府和社会各界纷纷制定相关政策推动大数据产业深入发展。2011 年，国家工业和信息化部发布了《通信业“十二五”发展规划》，该规划把大数据技术定位为构建国家级信息基础设施、实现融合创新的关键技术和重点发展方向。2013 年 1 月，工业和信息化部、发展改革委、国土资源部、电监会、能源局五部委联合发布了《关于数据中心建设布局的指导意见》，以推动中国数据中心合理布局和健康发展。2013 年 8 月，国务院先后印发了《关于“宽带中国”战略及实施方案的通知》和《国务院关于促进信息消费扩大内需的若干意见》，通过实施“宽带中国”战略和扩大“信息消费”的方式，推动数据中心和数据中心市场发展。其后，为拓宽数据收集范围、普及云计算服务和大数据运用，中国在 2014 年“宽带中国”专项行动中将大数据列为战略性新兴产业发展重点领域。2015 年 9 月，中国国务院印发了《促进大数据发展行动纲要》，明确了多个重点任务，即加快政府数据开放共享、推动产业创新发展和健全大数据安全保障体系。工信部信息化和软件服务业司司长陈伟在接受《经济日报》记者采访时表示，工信部将从制定产业发展规划、着力发展工业大数据、推动大数据标准体系建设、支持地方开展大数据产业发展和应用试点、加强大数据基础设施建设等方面入手，推动大数据产业发展。

地方政府层面，在国家政策的推动下，广东、上海、重庆、贵州等地方政府和北京中关村、天津滨海新区等相继制定和出台了大数据相关计划或规划纲要。走在较前列的广东省于 2012 年 12 月就宣布在全国率先启动大数据战略并起草《广东省实施大数据战略工作方案》提交省政府批准。随之，2014 年 2 月 20 日，中关村出台了《加快培育大数据产业集群推动产业转型升级的意见》和《中关村数海大数据交易平台规则》。2014 年，贵州省相继出台了《关于加快大数据产业发展应用若干政策的意见》《贵州省大数据产业发展应用规划纲要（2014—2020 年）》和《贵州省信息基础设施条例》，明确贵州大数据产业发展目标、任务和配套政策。上述政策的出台和实施，表明大数据产业在中国已经得到自上而下的高度关注，逐渐完善的政策体系为大数据产业的发展创造了良好条件。目前，工信部已支持和指导北京、上海、贵州、广州、陕西等地大数据产业和应用发展先行先试。其中，贵州在出台大数据产业扶持政策、开展数据共享交易、法律法规等方面成效显著；北京、上海、广东等地政府在支持大数据产业和应用发

展等方面均各具特色、走在全国前列。

在制造业领域，清华大学利用了企业信息系统中的备件销售订单、采购订单和备件库存状态数据，以及工程物联网采集到的工况数据和外部互联网数据（如每个省的 GDP，建筑、交通等规划数据），针对 30 个省、自治区、直辖市进行了备件需求预测，平均预测精度达到 82%，每种备件需求预测误差在 5 件（真实值的 20%）以内，库存水平控制在一个较低的稳定水平，降低至原库存水平的 48%。如果按备件库存占有资金 1 亿元计算，可节约库存资金占用 5 000 万元。

郑州精益达将柔性生产线的数控设备、机械手、物料和辅助设备进行智能化和物联化，每条生产线部署一个生产线控制台分系统，后台共享生产线服务器。服务器端存储企业需换型的工艺流程、物料人员信息、刀具信息以及生产数据，并通过分布式构建企业内部大数据模型。通过对生产运行过程产生的大数据分析，实现不同零部件换型时多工艺流程自主运行、生产过程监控和自适应优化条件控制。实现柔性生产线面对单件小批量生产时的智能控制。

海尔集团通过互联网整合其全球供应链资源，并在供应链各环节采用大数据技术对客户数据、企业内部数据、供应商数据等进行分析挖掘，实现了供应链协同和持续优化，进一步降低了企业运营成本。

10.5 存在的问题

1. 我国工业数据资源储备不够丰富，数据开放流通程度较低

丰富的数据源是工业大数据产业发展的前提，而我国工业信息化程度与发达国家相比仍有一定的差距。与此同时，已有数据资源标准化程度低、数据质量参差不齐，导致数据的利用价值也大打折扣。此外，在传统工业信息化系统建设模式下，由于对数据的重视程度不高，数据互通标准缺失，形成众多“信息孤岛”，数据开放程度和资源活性未达到理想水平。如何建立良性发展的数据资源储备和共享流通的生态系统，是我国工业大数据发展的首要问题。

2. 我国工业大数据缺乏平台级原创技术

我国互联网企业吸收了国际上先进的开源大数据技术，并构建于自身系统之中，但总体上仍缺乏平台级的原创技术。数据量的规模化增长和应用场景的越发丰富，使得传统 IT 架构信息系统已无法满足工业需要。企业级大数据管理不仅面临着有效存储、实时分析和再处理以及各种信息安全风险等诸多挑战，而且在

大数据整合、管理、分析、呈现等各个环节，还需考虑所采购的不同工具之间的兼容、适配以及建设和维护整套系统所带来的成本压力。因此，能够提供从大数据存储、交换、管理到分析和呈现的一体化大数据管理服务的大数据平台将成为未来市场的焦点。

3. 工业数据质量不纯，缺少“干净”数据

如果从一堆错误的数据里挖掘价值，那么得到的决策建议也是错误的。大数据时代企业不仅要重视大数据技术应用，更要重视数据质量的管理。数据分析一切都是源于数据本身，因此一定要保持数据的清洁和干净。在工业生产中，传感器搜集的数据就可能存在数据不纯的问题，缺失部分数据值。例如，在进行相关温度测定的过程中，由于传感器本身阈值的设定，只有阈值范围内的温度数据才能被传感器感知并采集，从而导致最终的数据完整性不够。对此，企业需要采取一定的措施进行数据纯度改善，对缺失数据进行注入和补充，通过平均值或标准差等方式更好地进行建模分析，减少数据不纯造成的决策误差。在企业数据库内部署相应的机制，对数据进行质量管理，包括数据清洗、除去重复冗余数据、减少噪声数据，提高大数据集合的建设质量。

4. 缺乏合理实用的标准体系

由于没有建立合理实用的标准体系，引发了大量的工业大数据集成应用难题。比如，大体量非结构化数据在跨系统、跨平台转换利用时无法迅速整合，企业内部大数据无权限开放使用，导致商业秘密和核心技术的流失，大数据技术水平和应用规模无法得到合理评估。

5. 数据人才短缺

工业大数据技术不仅涉及 IT，还涉及工业技术。在工业领域应用大数据技术对于人才的复合型要求更为突出。例如，做汽车行业的数据分析，不仅需要计算机、统计学、数学等知识，还要拥有丰富的汽车行业知识和经验，通过这些知识经验进行建模，才能开发出合适的分析方法，从而找到数据的价值。高度多学科综合性是大数据研究的特点。数据获取与管理涉及管理、物理、电子与信息等学科；数据存储与处理涉及计算机科学；数据分析涉及数据数学与统计学；大数据应用则与各行各业相关学科关联。要有技术储备，还要解决好人才培养问题。大数据人才的短缺将是我国未来工业大数据全面展开应用的最大挑战。Gartner 预测指出，截至 2015 年，全球与大数据相关的工作岗位将增加 440 万个，近 1/4

的组织将设立首席数据官，但仅有 1/3 新岗位能雇佣到专业人员。目前，国内仅有中国人民大学、复旦大学、北京航空航天大学等数十家高等院校开设了数据相关的研究生课程，数据人才的培养力度极为薄弱，数据人才瓶颈将成为掣肘我国工业大数据发展的核心因素之一。

10.6 发展重点

1. 创新数据服务新业态，推进数据资源化、服务化

对大数据而言，其重点在于对数据的分析挖掘，并由此获得凭直觉难以发现的有用信息。唯有将重点放在数据的分析挖掘与应用上，才能深入发掘大数据价值。可以认为，以数据为中心，为满足用户对数据的分析应用需求而提供的大数据服务将是大数据发展的核心。大数据服务不是一种通用型的服务，而是与基础数据和用户需求息息相关的定制化服务、知识型服务。用户、应用需求和应用场景一旦发生变化，其对大数据服务的要求就会发生改变。这种变化的出现和存在，使得完全通用的大数据服务无法存在，也使得大数据服务成为一种更加专业化、更具针对性的知识型服务。大数据服务必须重视与数据价值产生相关联应用的复杂多变性，以紧抓用户的综合服务需求，从数据集成、管理、分析、呈现等各个环节提供全方位的信息服务，才能够满足用户不断提升的大数据应用需求。大数据带来了认知、技术、产品、服务和应用于一体的服务时代，创新数据服务新业态和新的商业模式成为大数据产业发展的重点之一。

2. 建立容量更大、服务质量更可靠的工业宽带基础设施

信息物理融合系统（CPS）或工业互联网的实现，是建立在连续采样、大体量的工业大数据基础上的，而工业大数据的传输、交互和共享，必然要求建立容量、带宽、存储与数据处理能力更强大的基础实施，以及极高的通信智能和管理智能。现有的网络基础设施难以满足工业 4.0 或工业互联网时代的要求。因此，容量更大、服务质量更可靠的工业宽带基础设施将成为工业大数据发展的重要组成部分。政府有必要对扩建工业宽带基础设施制定专门的激励措施，奖励和鼓励工业宽带基础实施的投资与建设。有效的工业宽带基础设施，应该简易、安全、价格合理以及易扩展，不仅应该应用于智慧工厂，也能够应用于智能电网、智能交通以及智慧医疗。

3. 搭建“云端”+“终端”工业大数据平台

面向终端与云端数据的交换融合与智能协同，研制设备端的嵌入式数据管理

平台与实时数据智能处理系统，开发云端具有海量处理能力的工业数据采集、存储、查询、分析、挖掘与应用的工业数据处理软件栈。针对工业活动中结构化与非结构化、同步与异步、动态与静态、设备与业务、实时与历史等不同的数据形态，构建覆盖产品全生命周期和制造全业务活动的工业大数据平台，支持数据的整合集成与统一访问，实现“数据驱动”。

4. 构建工业大数据产业集聚区

围绕数据感知、传输、处理、存储、安全、管理、统计、分析、挖掘、展现、应用等数据全流程，全面发展工业大数据有关硬件、软件、终端、内容、服务产业，形成具有国际竞争力的完整的工业大数据产业跨界融合的生态体系。大力优化产业组织结构和区域结构，建立工业大数据产业发展集聚区，促进工业大数据产业向规模化、创新化和高端化发展，发展各具特色的大数据产品和装备制造业、大数据软件和服务业。

5. 组建产业联盟，构建以企业为主体、产学研联合发展机制

产业联盟是大数据产业发展的有效创新，它广泛聚集了大数据提供方、数据开发者、大数据交互平台、大数据使用方及数据投资者，构建一个完善、健康、有序的数据交易产业链条。同时，产业联盟聚集了厂商、用户、投资机构、院校与研究机构、政府部门的力量，通过研讨交流、数据共享、联合开发、推广应用等工作，实现数据开发共享，并形成相关技术与产业的突破性创新，推动培育世界领先的大数据技术、产品、产业和市场。

10.7 发展趋势

1. 结合智能计算的工业大数据分析将成为热点

大数据与神经计算、深度学习、语义计算以及人工智能等其他相关技术的结合将成为大数据分析领域的热点。大数据分析的核心是从数据中获取价值，价值体现在从大数据中获取更准确、更深层次的知识，而非对数据的简单统计分析。要达到这一目标，需要提升对数据的认知计算能力，让计算系统具备对数据的理解、推理、发现和决策能力，其背后的核心技术就是人工智能。近些年，人工智能的研究和应用又掀起新高潮，一方面得益于计算机硬件性能的突破，另一方面则依靠以云计算、大数据为代表的计算技术的快速发展，使得信息处理速度和质量大为提高，能够快速、并行处理海量数据。

2. 工业大数据将成为战略资源

在2012年年初的瑞士达沃斯论坛上，一份题为《大数据，大影响》（Big Data，Big Impact）的报告宣称，数据已经成为一种新的经济资产类别，就像货币或黄金一样。事实上，这个趋势在电子商务、金融、电信等行业已经成为现实，对数据的掌控导致了对市场的支配和巨大的经济回报。因此，在大数据时代，传统的商业思想正在被颠覆。在过去，衡量企业最重要的资产无外乎土地、流动资金和人才等几个要素。如今，数据作为企业一项更加重要的资产将直接关系到企业的发展潜力，数据资产正在当仁不让地成为现代商业社会的核心竞争力。

3. 大数据及其开发利用将催生新的产业业态

大数据的生产、整合、开发利用具有广泛的高附加值，是促进各行业创新的关键因素。大数据的有效利用势必创造巨大的潜在价值，许多行业和承担业务职能的组织，可以利用大数据提高人力、物力资源的分配和协调能力，减少浪费，增加透明度，并促进新想法和新见解的产生，极大地促进现代科技水平的创新发展。在大数据和工业互联网浪潮的冲击下，制造业的商业模式正在从销售产品转变为销售服务。

10.8 发展对策

1. 科学布局产业发展，构建开放共享新业态

作为全球网民数量最多的国家，重要的电子信息产品生产基地和最具成长性的信息消费市场，我国目前已经成为世界重要的大数据资源集聚地和大数据应用市场。但目前国内很多所谓的“数据中心”仍是“信息孤岛”。要警惕各地互联网数据中心建设的泛滥现象，造成资源浪费。据工信部统计，2011年到2013年上半年，全国规划建设的数据中心就有255个，设计容量为728万台服务器，而实际使用的只有约57万台，仅占设计规模的7.8%，造成土地、机房大量闲置。各地数据中心的建设规模应以产业实际需求为导向，做到精细化设计，针对性开发，促进大数据产业形成良好、可持续发展的生态环境。建立健全相关法律法规和政策环境，逐步打破“数据堡垒”，提高政府和垄断部门信息共享和开放程度，聚合“信息孤岛”。

2. 变革传统制造流程，深度开发工业大数据资源

工业企业是工业大数据的创造者，也是工业大数据应用的直接受益者，制造流程的先进与否，将直接关系到大数据质量和应用效益最大化。工业企业应当积极“走出去”和“引进来”，学习和引入一些先进的制造理念和流程设计，调整改善原有制造流程，构建适应工业大数据集成应用的生产体系。政府可以鼓励支持一些有条件的企业开展先进生产体系示范建设工程，引导劳动密集型制造向智能制造转型，开展工业大数据的集成应用创新实践，打造可复制的推广样板。

3. 在工业领域加快建设具有行业特性的大数据标准体系

工业大数据标准体系将是工业领域大数据应用的重要基础。目前，国内外的大数据标准化工作都处在起步阶段，尽早组织力量开展行业性工业大数据标准研究，立足自主知识产权，制定开放的技术、应用、安全、评价等系列标准，并逐步国际化，将有助于我国工业大数据应用发展。允许一些行业和地方对某些标准规范先行先试，在智能制造重大示范项目中率先探索工业大数据标准应用模式。

4. 完善工业大数据集成应用的平台机制

搭建工业大数据技术研究和应用创新平台，集聚政府、工业界、科技界的智力资源和应用创新资源，加大数据表示、数据分析、数据存储、数据质量、数据安全、大数据集互操作性等大数据技术方面的自主创新研究，促进新兴大数据技术应用的市场化布局，推广大数据技术的典型应用。探索建立工业大数据资产平台，赋予大数据资产属性，率先展开工业大数据资产化标准、资产所有权和使用权、资产价值评估、资产共享和交易机制等前沿问题研究，探索建立工业大数据资产交易市场、以市场模式保障大数据资产流转的可行性。

5. 重视培养数据工程师

目前，工业企业，特别是中小型制造企业大多将大数据相关任务外包给第三方信息服务机构，这些机构多为科技公司，对工业全产业链特点的把握存在跨界鸿沟，缺乏将先进大数据技术与工业生产融会贯通的服务经验。工业企业在企业内开展大数据技术培训，积极与高校建立战略合作关系，打造数据工程师培养基地，培养适应企业自身发展需求的数据工程师，才能实现工业大数据的最大化应用。应当将数据工程师培养的重心放在理论学习和实操应用并行推进，重点储备既懂大数据技术又通工业流程的实用型数据工程师。这已成为保障和提升我国工业大数据价值创新能力的当务之急。

参考文献

[1] 王伟玲．大数据产业的战略价值研究与思考［J］．技术经济与管理研究，2015（1）：117－120.

[2] 程晓蕾．工业4.0架构下的工业大数据的需求、环境及服务化［J］．赤峰学院学报（自然科学版），2015（8）：14－15.

[3] 彭宇，庞景月，刘大同，等．大数据：内涵、技术体系与展望［J］．电子测量与仪器学报，2015（4）：469－482.

[4] 李一男．世界主要国家大数据战略的新发展及对我国的启示——基于PV－GPG框架的比较研究［J］．图书与情报，2015（2）：61－68.

[5] 高婴劢．工业大数据价值挖掘路径［J］．中国工业评论，2015，Z1：21－27.

[6] 房俊民，田倩飞，徐婧，等．全球大数据产业发展现状、前景及对我国的启示［J］．中国科技信息，2015（10）：101－102.

[7] 世界主要国家的大数据战略和行动［J］．中国信息安全，2015（5）：66－71.

[8] 石菲．大数据优化工业4.0［J］．中国信息化，2015（6）：78－79.

[9] 钟海．大数据在工业制造业的应用与研究［J］．企业技术开发，2015（13）：104－105，119.

[10] 王建民．探索走出符合国情的工业大数据自主之路——工业大数据的范畴、关键问题与实践［J］．中国设备工程，2015（9）：36－37.

[11] 马蕾．何为工业大数据［J］．经营者（汽车商业评论），2015（7）：105－108.

[12] 工业大数据云 利用大数据集推动创新、竞争和增长［J］．自动化博览，2012（12）：40－42.

[13] 冯登国，张敏，李昊．大数据安全与隐私保护［J］．计算机学报，2014（1）：246－258.

[14] 魏凯．大数据产业发展状况及政策思考［J］．电信网技术，2014（4）：1－4.

[15] 徐恒．工业大数据落地有多难？［N］．中国电子报，2015－07－03（10）.

[16] 程学旗，靳小龙，王元卓，等．大数据系统和分析技术综述［J］．软件学报，2014（9）：1889－1908.

第 11 章　工业互联网

11.1　工业互联网概述

工业互联网是利用通信设备将工业设备与物料、数据资源（如产品设计数据、生产数据、管理数据等）和生产者（如现场工人、技术人员、管理人员等）联接起来而形成的网络。工业互联网既是互联网对工业领域渗透的结果，又是现场总线（Field Bus）技术发展的必然结果。

现场总线是连接工业现场设备和自动化系统的全数字、双向、多站的通信与分布控制系统，主要解决智能化仪器仪表、控制器、执行机构等工业现场设备之间的数字通信及控制，以及这些设备和上级控制系统之间的通信问题。1984 年，国际电工委员会（IEC）提出了现场总线的定义。同年，美国仪表协会（ISA）下属的标准与实施工作组中的 ISA/SP50 开始制定现场总线标准。1985 年，国际电工委员会决定由 Proway Working Group 负责现场总线体系结构与标准的研究制定工作。现场总线系统及标准经过多年竞争和发展，目前市场占有率较高的有 10 余种。这 10 余种标准分别得到不同国际大公司的支持，竞争极其激烈，使得现场总线控制系统标准至今无法统一。

冷战时期的 1968 年，美国国防部为提高军事指挥系统的安全性，提出要设计一个分散的指挥系统，该系统由一个个分散的指挥节点组成，这些分散的节点通过某种形式的通信网保持联系，其中部分节点被摧毁后其他节点仍能正常工作。该通信网就是 ARPANET，是现在广泛使用的互联网的前身。1983 年，ARPANET 被分成军用网络和民用网络，其中民用网络发展成为现在的互联网。1984 年，美国国防部将 TCP/IP（网络传输控制协议/互联网协议）作为所有计算机网络的标准。

从上面的介绍可以看出，互联网关注更多的是通信，而工业互联网不仅支持通信，而且还支持控制，从而导致工业互联网有其自身的特点和技术要求。这些技术要求中最重要的是实时性、可靠性和安全性。

现阶段实施工业互联网的一个更好和更切实可行的技术方案是：生产线上采用现场总线系统，保证生产现场设备通信与控制的实时性、可靠性和安全性。企业管理层采用互联网系统，技术成熟，成本低廉。底层的生产线和上层的管理层

之间则开发工业级网络设备，如工业路由器、工业网关、工业防火墙等，解决上下层之间的通信及企业信息安全问题。

技术的发展有其自身规律，但技术成为热点并被广泛推广应用，则更多地源于社会需求。

2011 年，美国总统科技顾问委员会（PCAST）发布的报告提出，美国制造业领先优势不断丧失，这一趋势已从低端制造产品领域逐渐向计算机、显示器等高技术产品贸易领域延伸，极大地损害了美国本土的创新控制力。考虑到美国在信息技术、纳米技术、国防技术等领域具有全球领先优势，应将相关领域的先进技术与工业制造技术相结合，推动再工业化，重塑美国制造业的竞争优势。由此，美国的先进制造战略、工业互联网战略等应运而生。2012 年，美国通用电气公司（GE）发布《工业互联网：打破智慧与机器的边界》白皮书。作为引领工业互联网技术研究和开发的工业互联网联盟，也已经从 2014 年 3 月成立时的 5 家国际著名企业，发展到 2015 年 9 月的由来自 24 个国家的 200 多家企业、研究机构等成员机构组成的国际性技术联盟。2015 年年初，该技术联盟发布了《迈出工程化第一步》，提出工业互联网的总体参考架构，其核心是以信息技术在工业中的应用为主视角，将信息技术对工业的作用领域划分为八个层次。

第一层是物理系统，包括存储器、芯片、执行设备等物理硬件。

第二层是作用于底层物理系统的信息感知和指令执行层，包括传感器与控制器，用于对物理设备的信息进行采集，并精确响应上层控制指令。

第三层是边缘聚合、分析与控制，其“边缘”主要针对的是机器设备层进行的数据分析与决策控制，由于海量数据信息难以全部通过网络进行集中汇集，因此“边缘”的计算和控制对于工业互联网而言至关重要。

第四层是设备管理，主要指基于 X. 509 证书机器设备的调配和管理，通过标准化的信息技术提高设备使用效率。

第五层和第六层分别是数据服务和分析服务，主要是指对底层关键信息数据的提取、语义信息过滤、存储处理，通过模型化的高级分析挖掘数据的价值。

第七层是工业应用与整合，主要是基于数据分析实现工业应用的开发、调试、部署与整合，促进机器设备与工业应用软件的协作。

第八层是工业生产延伸出的商业服务，最终形成由物理系统到商业系统的完整工业生态系统。

在工业互联网主视角之外，是支撑工业生产系统的网络视角。工业互联网联

盟提出网络方面要形成软件可定义、可连接、可维护、安全可信任、互操作的网络能力，成为搭建更高性能的先进网络基础设施。

GE 全球董事长兼首席执行官伊梅尔特认为，通过智能机器间的连接并最终将人机连接，结合软件和大数据分析，我们可以突破物理与材料科学的限制，改变世界的运行方式，工业互联网最终将重构全球工业。工业互联网有能力改变商业产出，将传统工业向智能化转型，建立个性化、数字化以及高度灵活化的产品生产和服务模式。通过工业互联网实现对机器设备的智能化改造，对数据链信息的建模、应用和产业化，以及对软件应用的平台化无缝集成。在工业互联网的支撑下，通过软件应用对机器设备进行远程监测、远程控制和远程维护，促进机器之间、机器与控制系统之间、企业之间的广泛互联，优化生产流程，提高生产效率，并由制造商向解决方案提供商转型。

根据 GE 的研究数据显示，工业互联网对全球 GDP 的贡献额为 3 230 万美元。从区域上看，到 2030 年，工业互联网普及给全球带来的收益可达 1 530 万美元，其中亚太、北美、欧洲、非洲和中东、拉美分别为 420 万美元、650 万美元、280 万美元、80 万美元和 90 万美元。另一方面，工业互联网涉及的行业领域比传统经济类别更广。通过传统的经济衡量方法，工业活动约占所有经济活动的 1/3，这种比例因每个国家的经济结构和资源禀赋不同而有所不同。但这并不足以体现工业互联网的巨大潜力。例如，工业互联网涉及工业运输车队和航空、铁路、海上运输等大规模的运输行业，还涉及医疗保健、政府等服务领域。将传统的工业与运输业和医疗保健业结合起来，全球经济的 46% 或全球产出中的 32.3 万亿美元，将得益于工业互联网。预计到 2025 年，工业份额将增长至全球经济的 50%，或占未来全球产出中的 82 万亿美元。

11.2 工业互联网核心技术

11.2.1 工业互联网体系架构技术

工业互联网是多个系统的集成，包括横向集成和纵向集成。纵向集成是指制造企业内部、智慧工厂内部的集成，包含从需求制订、设计、生产研发、物流、运营等各环节内部的集成，也包括跨环节的集成。横向集成是指企业间的集成、产业链的集成，通过企业间信息的共享，资源的整合，实现产供销全流程的业务无缝对接。各个系统共同形成了设备、产品、人等互联互通的高度耦合网络。工业互联网集成化的实现，不仅需要标准的系统间接口，还需要一个统一的体系架

构，为各个系统的集成化运作建立规范。

11.2.2 工业互联网实时通信技术

工业互联网中设备、产品、人之间的相互通信是不可替代的关键技术，包括现场总线技术、工业以太网、有线/无线通信技术、3G/4G 技术、解析技术、交换技术、组网技术、网关技术等。随着工业通信网络技术的不断发展，新兴的热点技术也不断涌现，如多种现场总线协议的转换技术、网络化控制系统的安全技术、网络冗余技术、工业无线与现场总线的网络集成技术、基于 OPC UA 标准信息集成技术、设备描述与设备管理技术等。

11.2.3 工业异构异质网络的融合技术

工业互联网中的异构网络既包括 RFID、蓝牙、Zigbee、WiFi、蜂窝网等适用于不同通信距离、具有不同通信协议的无线通信网络，也包括基于 TCP/IP 协议的互联网和专用协议局域网等有线网络。不同异构网络间在网络架构、参考框架、数据结构、应答机制、寻址方式等通信协议内容方面具有较大差异。如果异构网络间的融合问题解决不了，工业大数据的交互、存储和挖掘等都将会受到限制，产品全生命周期的增值服务也会受到影响。因此，需要明确异构网络间网关的转接机制，实现设备间的良性沟通。同时，将部分设备作为通信节点发挥智能路由器的作用，实现资源的合理配置以及生产效率的提高。

11.2.4 工业大数据的存取和利用技术

工业互联网时代，随着传感器的大量使用，智能设备的普及，这些设备生成了海量的数据。与此同时，设计、研发、物流、供应链、销售、服务等各个环节也都在源源不断地产生数据。对这些数据的消化处理能力成为未来制造企业竞争的关键。工业互联网环境下智能设备间需要频繁的数据交互，要求数据传输具有很高的实时性、可靠性以及安全性，更适合采用高效的海量数据存取技术，如流处理模式、分布式存储管理架构等，来满足生产需求。同时，利用数据挖掘等技术从海量数据中提取有价值的信息，并用于优化生产流程，完善服务体系，是实现智能制造的关键。

11.2.5 工业互联网的安全技术

工业互联网的信息安全问题关系重大，基础设施、企业核心技术、个人信息等都可能面临安全威胁和隐私泄露。第一是保障联网设备的本质安全。设备的本身应以工业用途为使用目的，而不是获取信息，具有足够高的安全认证级别。第二是网络的安全。信息的获取和数据的安全必须制定严格的规范，防止发生信息

的泄露或者篡改。第三是进行较完备的系统安全应急措施，当系统遭受攻击、失效乃至崩溃的时候，要有强大、快速的应急方案和系统恢复方案，使原有的系统可以正常运行，而不至于失效。安全技术具体包括：

1）信息采集安全。RHD/EPC 技术安全、传感器网络的基本安全技术（基本安全框架、密钥分配、安全路由、入侵检测和加密技术等）及终端安全。

2）信息传输安全。常用的安全措施有身份认证、数据访问控制、信道加密、单向数据过滤和强审计等。

3）信息处理安全。中间件技术安全、云计算安全技术（当采用云计算处理物联网海量数据时）。

4）个人隐私保护。

11.3 国外工业互联网产业发展概况

1991 年，美国里海大学（Lehigh University）提出了“美国企业网”计划，在由美国政府资助的“制造系统的敏捷基础设施”项目中得到实施。该计划利用高度发达的高速信息网络系统，把全美国的制造业通过卫星通信技术联系在一起。1994 年，美国能源部制订了“实现敏捷制造技术”的计划，涉及联邦政府机构、著名公司和大学等 100 多个单位，并于 1995 年 12 月发表了该项目的策略规划和技术规划。1995 年，美国国防部和自然科学基金会资助 10 个面向美国工业的研究单位，共同制定了以敏捷制造和虚拟企业为核心内容的“下一代制造”计划。1996 年，美国通用电气公司（GE）在美国国防部资助下，开展了计算机辅助制造网（CAM Net）的研究。其目的是建立敏捷制造的支撑环境，使参加产品开发与制造的合作伙伴在网络上协调工作，摆脱距离、时间、计算机平台和工具的影响，可以在网上获取重要的设计和制造信息，如 CAD 模型、生产工艺、制造仿真和顾客需求等。1997 年，美国国际制造企业研究所发表了《美国—俄罗斯虚拟企业网》研究报告。该项目是美国国家科学基金研究项目，目的是开发一个跨国虚拟企业网的原型，使美国制造厂商能够利用俄罗斯制造业的能力，并起到全球制造的示范作用。1998 年 12 月，欧洲联盟公布了“第五框架计划（1998—2002）”将虚拟网络企业列入研究主题。日本提出了社会信息化系统，目的在于实现日本社会真正向 IT 社会转型，不再追求工业化制造时代局部的高效率，而是要实现日本整个社会在未来保持最佳状态。2012 年，GE 在应用领域提出工业互联网的理念，随后美国五家行业龙头企业联手组建了工业互联网联盟

（IIC），将工业互联网这一理念推广开来。至此，工业互联网成为业界最热的议题之一，被视为新一轮工业革命的浪潮。

继美国推出工业互联网战略，德国2013年推出了《工业4.0》，希望通过互联网与制造业的结合，提高生产率、降低成本、保持制造业在全球的竞争优势。德国的《工业4.0》主要强调了三个集成，即企业内部的纵向集成、通过价值网络实现的横向集成以及贯穿整个价值链的端对端的集成，战略重点聚焦与利用新一代信息技术强化其在整体工业中的“硬制造”优势和工业自动化领域的龙头地位。德国在制造业一枝独秀，智慧工厂的发展成为了德国的最优之选。

美国为了建立先进的制造业也加大了工业互联网的部署，创造了新的就业机会，提高了生产率，降低了生产成本。与德国工业4.0强调的“硬”制造不同，软件和互联网经济发达的美国更侧重于在“软”服务方面推动新一轮工业革命，希望借助网络和数据的力量提升整个工业的价值创造能力。2012年，美国启动“先进制造业国家战略计划”，提出要发展包括先进生产技术平台、先进制造工艺及设计与数据基础设施等先进数字化制造技术，其核心是鼓励创新，并通过信息技术来重塑工业格局，从CPU、系统、软件、互联网等信息端，通过大数据分析等工具“自上而下”地重塑制造业。

GE作为工业互联网的提出者，在2012年提出工业互联网概念之后，很快便推出了包括“弹性效率控制系统”等在内的10款工业互联网应用。2013年，GE宣布将在未来3年投入15亿美元开发工业互联网。在此期间，GE强化了与跨界企业的合作，包括：与亚马逊合作开发基于AWS优化的IT基础设施；与埃森哲合作，提升大数据分析能力；与AT&T合作，将GE的机器设备接入AT&T的通信网络和云端，打造工业互联网无线通信系统；与“平台即服务（PaaS）”公司Pivotal合作，注资1.05亿美元，以提升工业互联网的云平台技术能力。同时，GE成立千人规模的软件研发中心，进一步打造了14款工业互联网应用，涵盖能源、采矿、航空、铁路和医疗等多个领域。

2014年，GE与思科、IBM、AT&T、英特尔五家企业宣布成立工业互联网联盟（IIC），在NIST的参与下，推动网络与数据标准的建立，组织开展工业互联网应用的“测试床（Test bed）”项目。其目的是通过测试床进行相关部件和解决方案的验证，建立统一的标准和安全机制，并与其他物联网标准组织进行对接。一旦这些标准和安全机制建成，将有助于硬件和软件开发商创建与物联网完全兼容的产品。最终结果可能是实现传感器、网络、计算机、云计算系统、大型

企业、生产设备和数以百计其他类型的实体得以全面整合，推动整个工业产业链的效率全面提升。工业互联网联盟预计三年内测试床的建设投入将达 3 亿美元，由政府和企业各负担一半。在政府和私营部门的大力推动下，美国很有可能出现以无线网络技术全覆盖、云计算大量运用和智能制造大规模发展为标志的新一轮技术创新浪潮。从发展方向来看，工业互联网联盟希望成为 IEEE、oneM2M、3GPP 等物联网相关标准的产业推广组织。目前，联盟成员已超过 151 家，中国信息通信研究院、华为公司位列其中。下一步，GE 正在谋求建立统一的控制平台（操作系统）Predix，将所有工业互联网应用统一到该平台，并向第三方企业开放，进一步推广工业互联网应用。

自 2012 年 11 月 GE 发布工业互联网产品以来，GE 工业互联网的应用已经初显成效。至 2013 年 10 月，这些产品所带来的销售收入就已经达到 2.9 亿美元，订单 4 亿美元。GE 公司的设备目前拥有高达 1 600 亿美元的服务合同，工业互联网产品的应用将为公司平均每台设备带来 3% ~5% 的销售额增长，软件的销售额每年将增长 15%。目前，GE 正在开展 40 个工业互联网应用，这些应用产品将为 GE 带来超过 10 亿美元的增量收入。监控和分析了超过 5 000 万个数据元素，这些数据来自 1 万亿美元托管资产的 1 000 万个传感器。机器的连接，海量的数据、系统的分析，人与机械的完美结合均蕴含着巨大的财富。按照 GE 宏伟的愿景，到 2025 年，受益于工业互联网的工业部门将达到 82 万亿美元规模，或许将占据全球经济总量的一半。

从 GE 所倡导的工业互联网理念，以及联盟一系列具体工作来看，美国的工业互联网注重利用互联网开放理念打造产业生态系统。“也许你昨晚入睡前还是一个工业企业，今天一觉醒来却成了软件和数据分析公司。”伊梅尔特用这样的表述形容 GE 在工业互联网变革中的进展。

11.4 我国工业互联网产业发展概况

当前，我国工业互联网融合发展已具备市场主体、技术和产业基础。我国是全球制造业第一大国，制造业在保持总量第一的前提下，向高端发展的要求也越来越迫切，为融合应用的开展提供了市场主体。同时我国也是全球互联网第二强国，网络强国战略的部署为发展工业互联网提供了强大的信息基础设施和应用服务支撑。据中国互联网络信息中心（CNNIC）发布的《中国互联网络发展状况统计报告》显示，截至 2015 年 6 月，中国网民规模达 6.68 亿人，互联网普及率为

48.8%。其中，中国手机网民规模达5.94亿人。在网络基础设施建设方面，截至2015年12月，中国域名总数为3 102万个，网站总数为423万个。企业对互联网的接受和应用程度明显提高，中国企业使用计算机办公的比例为95.2%，使用互联网的比例为89.0%。从国家统计局的信息化发展指数来看，2014年，我国信息化发展指数为66.56，比2013年增长5.86%，信息化水平进步明显。另外，我国互联网创新发展水平不断提升，服务能力显著增强，形成了一批具有较大规模和竞争力的互联网企业，为工业互联网的融合提供了坚实的技术基础。目前有7家企业进入全球市值前30位，基于网络的流程再造与业务创新加快，电子商务、现代物流、网络金融等现代服务业迅速发展，云计算、物联网、移动互联网、智能终端等新一代信息技术产业进一步壮大。我国工业发展正处于加快转型升级，走新型工业化道路的历史关口，发挥互联网优势，推动工业互联网发展，是把握新产业变革契机，助推我国产业升级的重要途径。

从2002年提出要走新型工业化道路，到2007年提出信息化与工业化融合发展的战略目标以来，我国一直进行工业互联网宏观层面的战略布局。2013年9月，我国政府发布了《信息化和工业化深度融合专项行动计划（2013—2018年）》，提出了以互联网与工业融合的创新来促进生产力水平的提高。2015年，李克强总理在《政府工作报告》中明确提出制定“互联网+”行动计划。同年5月份，国务院印发了《中国制造2025》，强调发展工业互联网与“‘互联网+’工业”、智能制造等热点，旨在通过两化融合，推动中国由制造大国向制造强国转型升级。工信部部长苗圩在解读《中国制造2025》时指出，“工业互联网是顺应新一轮工业革命和产业变革的一个重点发展领域，也是政府工作报告中提到的‘互联网+’最早实现的行业之一”，“工业互联网的应用和发展可从两个方面切入，实现融合发展：第一个方面，就是智能制造；第二个方面，就是把互联网引导到工业企业、工业行业中去。”我国工业互联网的内涵不仅包含利用工业设施、物联网和大数据实现生产环节的数字化、网络化和智能化（即德国工业4.0描述的智慧工厂），还包括利用消费互联网与工业融合创新，实现制造产品的精准营销和个性化定制，通过重塑生产过程和价值体系，推动制造业的服务化发展。

在国家相关政策和专项计划的部署下，2014年工信部共支持了23家互联网与工业融合创新试点企业开展试点工作，投资约1 100万元的项目资金，探索融合创新的模式和方法，创新试点成效显著。京东、百度、苏宁、CAXA、普金科技、广新信息、猪八戒网和亚洲流体网等形成了企业间协同创新、资源整合共享

的核心平台；大唐、国电、北江纺织以互联网作为业务流程优化、生产运营效率提升的重要工具；伊利、九阳、思念、洋河酒厂、回家网和南航等利用互联网提升个性化体验，实现服务模式创新；海尔、普天新能源等注重打造跨越企业边界，重塑供需关系的开放式创新平台；智慧联合则抓住企业对大数据信息的需求提供专业服务。2014 年 7 月，中国信息通信研究院（原工信部电信研究院）等 6 家单位成立了互联网与工业融合创新联盟，为企业提供协作与交流的平台。目前，联盟已有来自工业、互联网、软件、IT 等多个行业领域的 70 多家成员单位。另一方面，欧美的跨国公司开始密集性地在华设立研发机构，涵盖食品、通信、制药、软件、化工等众多行业。例如，GE 将继续在我国航空、医疗、发电、水处理、石油天然气等行业投资，并成立软件与分析中心，旨在促进 GE 与中国各业务集团之间的合作。

国内企业通过工业互联网平台整合上下游优势供应链资源，开展产品全生命周期的扁平化管理。商飞公司为研制 ARJ21 支线飞机组建的项目广域协同平台，采用“主制造商 + 供应商”的管理模式，联合全球 10 多个国家、104 家供应商之间的协同研发和制造。宝钢通过构建基于工业互联网的全流程管理体系，实现了信息流、物流、资金流的协同，产品交货时间、供应链管理水平等居全球领先地位。

我国能源领域的工业互联网应用已经着手探索，尝试通过工业互联网优化能源在生产领域的动态配置，开辟制造业绿色发展新路径。大唐集团与上海电气等设备制造商合作建立了数据监测工业互联网平台，高频度实时采集、汇总、存储和集中处理各发电厂机组生产数据，不仅为发电厂优化发电生产流程提供依据，也为电机制造企业改进制造设备、重组生产线提供了支撑。积成电子、中国移动、联想集团共同打造了智慧能源平台，利用智能能源设备采集水、电、气、热等能源使用数据，深度分析能源使用量与频率之间的关系，从而按需配置能源，实现能效提升、节能减排。对企业而言，平台实现了能源消耗的可追溯、可监控、可管理，降低了能源开支，提高了能源使用效率；对合同能源管理服务提供商而言，平台整合了实时数据存储、分析、可视化管理等服务资源，降低了开发、建设和运营成本，促进效益最大化；对政府及金融机构而言，平台提供了能源生产和消费的动态信息，为实行有效监管和调控提供了真实透明的数据支撑。未来，平台还将在节能技术改造、节能量监测、核算和评价，以及碳交易的开展等领域开拓更多的应用，创造更多经济和社会价值。在我国“四化”同步发展

的新形势下，互联网在经济社会各领域所发挥的重要作用日渐显现。以最保守的方式估算，未来 15 年，我国仅在商用航空领域，节约 1% 的燃油就意味着节约 30 亿美元的成本；燃气发电机组能耗降低 1%，就意味着节约价值 80 亿美元的燃料；在穿行于全国铁路网络的运输行业，如果效率提高 1%，则意味着节约 20 亿美元的燃料成本；产业上游的石油和天然气勘探开发的资本利用率提高 1%，就可避免或推迟 70 亿美元的资本支出；中国医疗效率提高 1%，就意味着节约 40 亿美元的医疗成本。假设工业互联网仅仅提高行业生产率和能源效率 1%，其潜力也能让中国的航空、电力、铁路、医疗、石油天然气行业在未来 15 年共计节省约 240 亿美元的成本。据估计，到 2030 年，工业互联网将有潜力为中国经济带来 3 万亿美元的增长机遇。

11.5 存在的问题

1. 相比消费服务互联网，工业互联网发展成熟度不够

国内工业互联网发展成熟度与消费服务互联网相比还有着较大差距，暂难满足工业生产的需求。工业互联网是一个有机的生态体系，各环节之间的融合发展并非一蹴而就，需要具备一定的条件，也存在一些基本规律。我国互联网服务侧重消费端，对个人用户市场的开拓比较得心应手，而对工业企业市场缺乏相应的技术与服务能力。这主要是由于互联网和工业生产体系之间存在差异，两者有着各自不同的属性和特征。互联网创新强调开放、共享，而工业生产体系对稳定和安全性要求更为严苛，两者特性与体系难以契合，表现为现阶段互联网与工业生产融合主要集中在下游销售和上游设计等环节，很少直接发生于生产过程。

2. 工业互联网供需双方存在认识差异，缺乏融合性人才

因行业差异与专业壁垒的影响，作为供需双方的工业企业和互联网服务企业对互联网认识存在不同。一些工业企业或对互联网创新理解不够，缺乏开放共享的精神和自我变革的勇气，或过度神化互联网思维，成为盲目的跟风者。同时，一些互联网企业对工业领域创新需求的理解和挖掘也不够准确，或固步于消费者端琢磨“眼球经济”，或因缺乏对工业生产的足够认识而“不接地气”。既了解工业又熟悉互联网的融合性人才缺乏，也构成了障碍。

3. 工业互联网服务企业专业化程度不高，缺少引领全球的工业互联网信息服务企业

与国际先进水平相比较，目前我国工业互联网服务企业的专业化程度不高，国际化程度较低。为工业领域提供互联网服务的企业多属中小企业，虽然创新意识很强，但服务层级和技术含量参差不齐。一些专业服务集中于中低端市场，缺乏高端服务、个性化服务和复合型服务，使得工业创新发展产生的很多新兴互联网服务需求难以得到有效满足。支撑工业互联网发展的标准不完善，产业链上下游协同缺乏统一标准。如何在保证高度安全可靠的前提下将既有生产运营、管理体系更好地与互联网结合，是传统企业互联网转型中普遍面临的问题。

4. 工业互联网尚未形成完整的标准体系，相关法律政策有所缺失

工业互联网发展过程中会产生很多融合性产品或服务，相应的标准体系目前在行业上下游间暂未统一，接口困难，各方自行推动的标准建设带来较高的重复建设成本，相关的政策法律也有所缺失。工业互联网属于典型的融合性领域，但目前监管体系仍属于传统行业划分的模式，在行业管理理念、管理模式等方面无法满足新兴融合领域发展的需求，很难做到对新出现的问题及时跟踪和及时解决。同时，涉及工业互联网的应用服务存在多头管理和信息不共享问题，容易造成服务和管理效率低下，新兴领域的监管存在缺位或越位问题。

5. 核心技术受制于人，工业互联网信息安全问题面临严峻挑战

从工业互联网本身来看，工业互联网的发展意味着工业控制系统将更加复杂化、IT 化和通用化，不同工业控制系统互连互通，内部将越来越多采用通用软件、通用硬件和通用协议，这将增加信息安全隐患。从产业角度看，虽然我国工业控制系统已经形成较大的产业规模，但是芯片、嵌入式操作系统、嵌入式软件、总线协议和工控软件等核心技术仍受制于国外公司，高端市场拥有自主知识产权的技术和产品较少，这意味着如果不能自主可控，工业互联网的发展将受制于人。从技术应用来讲，随着工业控制系统产生、存储和分析的数据海量增长，数据保护如何解决，云端数据信息如何保障，大数据、云计算技术的应用将带来更多更复杂的安全问题，工业互联网信息安全面临着严峻挑战。

11.6 发展重点

1. 加快工业互联网标准化建设

工业互联网要实现技术创新、互联互通、系统安全和产业提升均离不开标准

化的引领。当前标准化工作已经获得了国内外的普遍重视，包括美国工业互联网联盟（IIC）、德国工业 4.0 平台、国际电工委员会（IEC）、中国智能制造标准工作组等组织均在积极布局推进。2015 年，由工信部主导的智能制造设立了多个标准化项目，覆盖了工业互联网标准体系、架构体系标准、工业云计算、工业大数据、集成等标准。未来，我国要加快标准创新研究基地建设，强化技术标准研制，积极介入标准化建设，加强与国际对接，努力掌握主动权和发言权，为我国工业互联网技术、产业发展营造良好的国际环境。

2. 自主攻关高新技术，增进国际合作研发

高新科技的研发攻关不仅需要国家的政策和资金支持，还需要引导政府科研机构将研究重心放在基础学科上，并将具有利润空间的高新科技研发交给市场和企业来做。政府应该搭建跨界研究的平台，鼓励跨学科的科研交流和国际间的合作研发。工业互联网核心的传感技术、数据挖掘分析、高端机械制造及微电子芯片等技术是中国制造业技术中的软肋，政府应扶持鼓励这些技术领域的自主创新研发，对国际先进技术可以先引进再消化吸收，最终实现改进再创新，并促进产学研紧密结合，方能更有效地实现科研成果产业化和市场化，为实现工业互联网奠定技术基础。

3. 提高复合型人才储备，创新人才培养模式

工业互联网的实现需要有强大的技术型复合型人才储备。鉴于目前技术型复合型人才的缺失和断层，我国的教育体制改革迫在眉睫，需要在职业教育上投入精力，促进持续性的职业发展。加大产业工人的人力资本投资，特别是自动化机械工程师、大数据分析师、网络通信和信息安全专家等技术人才的培养及引进。学校和企业应探索联合培养的新路径，如基础知识和技能实训的教育合作项目、海外培训项目等，以储备满足需要的相关人才。对于重点领域高新技术的紧缺人才，政府可以利用互联网组织专家、工程师及培训机构开展线上线下相结合的长效培训机制，并从国外引进相关人才进行指导。

4. 加强网络信息系统管理，健全信息安全机制

为加快推进工业互联网的建设，在网络信息建设管理方面，政府需要从三方面着重把握。第一，加大基础网络设施的建设，完善大数据云存储数据库，统筹基站布局，合理规划信息传输通道和信息连接点，保障网络连接的畅通。第二，合理运用大数据，数据的高度集中及有效融合分析，有利于提升管理效率，为管理决策提

供科学依据，实现资产优化配置。第三，制订高效的网络信息安全防控机制，提升数据加密技术，对检测出的安全漏洞及时补丁，提高国民的信息安全意识。

5. 促进企业全生命流程的互联互通

面向工业互联网的发展要求，从设备控制、车间组织、工厂调度、企业管理四个层面加强信息化建设，提升生产制造的数字化、自动化水平，制定通用通信标准架构，解决 MES 定制成本高的问题。在企业集成过程中避免出现“信息孤岛”，打破信息堡垒，实现对全生产过程的数字化监控，为工业互联网的发展奠定基础。

11.7 发展趋势

1. 工业互联网向企业各环节全面渗透，提升企业运行质量和效率

随着工业互联网在企业中的应用从营销、服务端向设计、制造端深度扩展，工业互联网不断突破价值传递的平台媒介角色，逐渐转变为价值创造的重要工具，促进价值链的优化提升和体系重构。一方面，工业互联网打通了全产业链环节，加速各环节数据纵向流动和交互，通过对数据深层次分析，实现机器设备的智能运转和远程操控，为企业创新生产方式、优化生产流程、提升生产效能发挥了极大的促进作用。另一方面，工业互联网搭建起企业与用户、利益相关者无缝对接的平台，拉近了制造端和服务端的距离，为企业基于用户需求设计生产、无缝隙传递服务提供了支撑，推动服务型制造快速发展。工业互联网条件下，生产设备网络化和生产系统智能化水平得到提升，使得消费者需求在设计、生产领域能够得到迅速及时响应，以生产者、产品和技术为中心的制造模式加速向社会化和用户深度参与转变。

2. 工业互联网驱动企业间高效合作，促进协同创新发展

工业互联网为不同企业搭建了信息共享与集成平台，使其能够在全球范围内迅速发现和动态调整合作对象，整合企业间优势资源，在产业链不同环节实现企业从个体生产向协同创新方向转变。协同创新分为三个层面。一是制造企业以品牌为核心，通过工业互联网平台整合上下游优势供应链资源，开展产品全生命周期的扁平化管理，推动制造产业链向两端不断延伸。二是制造企业以技术创新为引导，通过工业互联网开放平台吸纳政府、科研、创客等资源，建立从应用研究、技术开发到产业化应用的创新链条，突破创新中的孤岛局限，实现创新主

体、创新各环节有机互动，为促成大众创业、万众创新发挥着关键性作用。三是信息服务企业以提供制造服务为核心，通过工业互联网云平台将软硬件、企业、专家、知识、技术等各类制造资源虚拟化，在统一、集中的智能管理和运营基础上开展面向制造企业用户的、覆盖产品全生命周期的云制造服务。其运作模式是：企业用户向云制造平台提出使用请求，通过平台对请求的分解、调度、优化和组合，形成最优匹配的整体解决方案提供给用户，实现制造资源和工业软件、研发设计等服务按需供给、即买即得。随着云服务平台陆续建立、大数据中心资源整合逐步开展、制造企业私有云稳步推进、投融资体系持续跟进，云制造将进一步提升规模、形成集群并创新发展，成为工业互联网战略性新兴产业的重要组成部分。

3. 工业互联网与互联网、移动互联网的渗透融合，共同构建网络社会

如今，智能手机、平板电脑，智能电视、智能机器人、智能可穿戴设备等智能终端层出不穷，通过动态存储、感知和通信，实现可追溯、可识别、可定位，并广泛应用于经济社会各行业领域。因此，这些智能终端在应用中实际变成了工业互联网的网络终端，推动工业互联网与制造业之外的传统产业、各个领域的不断结合，通过追溯、识别、定位和数据分析不断发掘着增值服务环节和机会，大力创造新业态、新市场，重塑经济社会发展新模式。

11.8 发展对策

1. 鼓励工业互联网应用，加大对重点领域应用的政策扶持力度

突破信息获取和感知识别技术瓶颈，推动物联网、大数据技术在能源、原材料、装备等行业的应用。鼓励汽车、装备、钢铁等信息化程度较高的企业构建智能制造系统，为工业互联网发展提供原动力。在消费品领域组织推广规模化个性定制、移动社交营销、用户交互平台等模式。对于互联网深入渗透工业领域有重大意义的项目，通过多种扶持政策，加快促进工业互联网发展。

2. 引导相关服务企业转型发展，提高跨界综合服务能力

鼓励消费型互联网企业抓住互联网与工业融合发展的机遇，充分了解工业企业需求，积极拓展工业互联网业务，从消费性服务向生产性服务拓展。对于工业软件与 IT 服务企业，在鼓励企业自身互联网化转型的同时，加强产业链条纵向

整合，提高软硬件、网络、平台、应用、流程综合集成能力，为工业企业提供基于互联网高端综合集成服务，形成工业互联网解决方案的专业服务队伍。

3. 努力突破阻碍工业互联网发展的各类壁垒，加速工业互联网发展

弥合互联网与工业行业理念、制度、技术和市场方面的分隔，在多个层面实现互联网与工业行业的充分对接，协力推进工业互联网发展，搭建常态化的企业交流互动和业务宣传推广平台，形成工业互联网领域知识资源共享和互补。通过跨部门、跨行业管理机制，加快完善标准体系。集中国家力量突破核心技术与产品，强化关键设备和重要系统的安全可控。

4. 完善工业互联网发展的推进机制，形成协力推进的发展环境

工业互联网发展是涉及多领域、多行业、多主体的系统工程，需要通过试点示范、建立多方合作机制等方式，摸索经验，协同推进。首先，需要建立良好的工作机制，在行业、企业层面上深入推进工业互联网发展，及时总结试点经验并推广；其次，建立多方参与的协同机制，加强工业行业、信息化和互联网管理部门的协同；最后，建立工业互联网供需双方沟通与对接机制，创造更多的平台和交流机会，加强社会公众与产业界的互动。

参考文献

[1] 汤浩，谢添．浅谈工业互联网［J］．才智，2013（3）：307.

[2] 肖俊芳，李俊，郭娴．我国工业互联网发展浅析［J］．保密科学技术，2014（4）：13－16.

[3] 杜娟，王建伟，王峰，等．互联网与工业融合创新的主要路径及模式初探[J]．产业经济评论，2014（5）：20－26.

[4] 于小龙，刘静．GE 的工业魔盒［J］．中国经济和信息化，2014（Z2）：28－37.

[5] 张志，温晓薇，任飞蓝．工业互联网：GE 向中国推广的“新概念”［J］．小康，2013（9）：92－93.

[6] 云晴．别样视角切入工业互联网［J］．中国电信业，2013（11）：70－71.

[7] 肖琉．工业互联网来了［J］．市场观察，2013（8）：26－31.

[8] 秦文聪．工业互联网关键技术研究［J］．数码世界，2015（10）：45－46.

[9] 刘俊博．全球制造业变革中的中国制造：工业互联网与产业转型［J］．常州工

学院学报，2015（Z1）：28－32.
[10] 工业互联网是推动新一轮工业革命的重要引擎［J］．自动化与仪表，2015（5）：72.
[11] 王建伟．工业互联网助推中国产业升级［J］．互联网经济，2015（3）：34－39.
[12] 杨帅．工业4.0与工业互联网：比较、启示与应对策略［J］．当代财经，2015（8）：99－107.
[13] 陈凯．工业互联网掀全球工业革命 美德加快战略部署［N］．通信信息报，2015－04－15（A08）.
[14] 李坚．中国制造2025、德国工业4.0、美国工业互联网战略与我国塑料机械行业［J］．橡塑技术与装备，2015（21）：1－14.
[15] 李培楠，万劲波．工业互联网发展与“两化”深度融合［J］．中国科学院院刊，2014（2）：215－222.
[16] 安晖，安琳．我国工业互联网的发展路径［J］．中国工业评论，2015（6）：54－58.

第12章　工业信息安全

12.1　工业信息安全概述

传统工业自动化控制系统SCADA、DCS、PLC等多采用专用技术的封闭网络，运行独特的工业控制协议，包括：OPC、Profinet、Ethernet/IP、Modbus、CAN等。各种工业控制设备、应用、系统主要是针对专有的封闭环境而设计，对外没有互联互通，其面临的信息安全威胁并不突出。由于没有现实的信息安全威胁问题，传统工业自动化控制系统在设计、实现与部署过程中，其主要性能指标是可用性、功能、性能、物理安全性和实时性等，而无需过多考虑网络攻击、信息安全等问题。随着计算机和网络技术的发展，特别是信息化与工业化的深度融合以及物联网的快速发展，工业控制系统产品越来越多地采用通用协议、通用硬件和通用软件，以各种方式与互联网等公共网络连接，各种工业自动化控制系统正快速地从封闭、孤立的系统走向互联互通的系统，广泛地采用标准的商用操作系统、中间件和各种通用软件、以太网、TCP/IP网络作为网络基础设施，包

括 WLAN、GPRS 等在内的各种无线网络，将工业控制协议迁移到应用层。

工业自动化领域在享受开放、互联技术带来的技术进步、生产率提高与竞争实力大大增强的利益的同时，也面临着越来越严峻的信息安全挑战。传统的互联网信息安全威胁正在向工业控制系统蔓延，黑客、计算机病毒等威胁正在向工业控制系统扩散，工业控制系统信息安全问题日益突出。相比于 IT 系统，工业控制系统的漏洞和脆弱性更严重。工业控制系统只能接受很短的计划停机时间，往往发现了漏洞，也没有机会去对系统进行升级或安装补丁，这就导致了其漏洞和脆弱性的严重程度远大于一般的 IT 系统。

截至 2014 年 6 月，以绿盟科技安全漏洞库收录的工业控制系统相关的漏洞信息为基础，综合参考了美国 CVE、ICS – CERT 以及中国国家信息安全漏洞共享平台所发布的漏洞信息，共整理出了 549 个与工业控制系统相关的漏洞。其中，来自互联网的攻击和渗透增多，针对关键基础设施及其控制系统，以窃取敏感信息和破坏关键基础设施运行为主要目的攻击愈演愈烈。比如，由于病毒、恶意软件等导致的工厂停产，工业制造的核心数据、配方被窃取，制造工厂及其关键工控生产流程被破坏，恶意操纵工控数据或应用软件，对工控系统功能未经授权的访问等。另外，第三方运维也加大了工业控制系统的信息安全风险。工业控制系统内的第三方运维体系本身更复杂，包括 IT 设备运维、自动化设备运维、生产设备运维等；工业企业针对运维行为，通常也缺乏足够的安全管理措施，比如身份认证、移动介质管控、运维行为审计等，这造成了目前工业控制系统中运维安全难以管控，出现问题难以追溯的局面。

与传统 IT 信息安全相比，工业信息安全有其自身的特点，主要体现在安全防护的重点有所不同。IT 安全一般针对的是办公自动化环境，需要首先保证机密性，其次才是完整性和可用性（即通常所说的 CIA）。而工控信息安全的防护对象则是工业生产现场的 PLC、RTU 等控制设备，工业控制（实时）网络通信，以及 DCS、SCADA 等工业控制应用，必须优先保障工控系统的可用性，能够提供不间断的可操作性。同时，工控系统的系统性能、数据的实时传输以及系统与数据的完整性不受到破坏。因此，对工业信息安全而言，首先需要满足控制系统的高可用性和完整性。由于在工控环境下，多数数据都是设备与设备之间的通信，机密性也是工业信息安全的目标之一。

12.2 工业信息安全的核心技术

12.2.1 工业网络信息安全总体技术

网络信息安全体系包括体系结构、攻防、检测、控制、管理、评估技术，大流量网络数据获取与实时处理技术（专用采集及负载分流技术等），网络安全监测技术（异常行为的发现、网络态势挖掘与综合分析技术、大规模网络建模、测量与模拟技术），网络应急响应技术（大规模网络安全事件预警与联动响应技术、异常行为的重定向、隔离等控管技术），网络安全威胁及应对技术（僵尸网络等网络攻击的发现与反制技术、漏洞挖掘技术），信息安全等级保护技术。

12.2.2 工控系统信息安全等级保护技术

工业控制系统网络架构是依托网络技术，将控制计算节点构建成为工业生产过程控制的计算环境，属于等级保护信息系统范围。从技术和管理两个方面进行安全建设，构建在安全管理中心支持下的计算环境、区域边界、通信网络三重防御体系，保证工业控制系统可信、可控、可管。按照等级保护的基本原则，确定不同等级工控系统的安全区域，如何合理地进行网络分区，以及分区管理的策略；研究分区之间的网络隔离技术、数据传输技术，包括单向传输技术、数据摆渡技术等，以实现通信网络安全互联、区域边界安全防护和计算环境的可信免疫。

12.2.3 大数据分析、漏洞挖掘技术

工控终端设备的漏洞数目不多，但是危害极大，一般是高危漏洞。由于这些终端设备下直接连接现场生产设备，直接控制实际的生产流程，一旦受到攻击，其后果将造成非常大的损失，如爆炸、停机甚至人员伤亡。为了更好地管理以及控制工业控制系统漏洞，避免工业控制系统漏洞被利用所带来的损失，以及为各工控厂商提供权威的数据，各国都建立了开放、灵活的漏洞发布等管理机制，经营着各种公开漏洞库。比较权威的有 CVE、ICS－CERT、还有中国国家信息安全漏洞共享平台（CNVD）以及中国国家漏洞库（CNNVD）等，通过大数据分析以及漏洞挖掘技术，检测工业控制系统的已知公开漏洞。

12.2.4 防火墙技术

与传统信息系统防火墙相比，工业控制系统防火墙技术需具备状态检测的能力、状态分析功能，支持工业控制协议，并能够满足工业控制系统实时性要求。

因此，对工业控制系统专用防火墙，一方面，是对工业控制专用协议的支持，另一方面，需要采用类似 DPI（深度报文检测）技术来实现对封装在 TCP/IP 协议负载内的工业控制协议检测，发现、识别、分类、重新路由或阻止具有特殊数据或代码有效载荷的数据包。此外，由于工业控制系统对实时性要求较高，传统基于包过滤和应用层网关的防火墙技术由于效率和规则的问题无法满足，可采用状态检测技术，对网络通信的各层实行检测。

12.2.5 工控系统纵深防护技术

采用纵深防御的信息安全构架，以扭转“封堵查杀”被动局面。纵深防御就是要通过部署多层次的、具有不同针对性的安全措施，保护关键的工业自动化控制过程与应用的安全。建立工业自动化控制系统纵深防御，首先需要对具体工业自动化控制系统安全需求进行系统地分析，制定相应的安全规划；并对工控系统进行风险评估，切合实际地识别出该系统的安全脆弱性，面临的安全威胁，以及风险的来源。在此基础上，借助于产品安全、安全操作指南以及专业的工业安全服务，建立、部署层次化的多重安全措施。具体包括物理安全；制定安全策略与流程；部署防火墙进行隔离、防护不同的安全单元（安全域）；采用 VPN 保护单元间通信；进行系统加固；部署账号管理等访问控制措施；以及补丁管理、恶意软件检测与防护等。目前，纵深防御的工业信息安全理念覆盖了工业自动化控制系统的所有级别，是满足工业信息安全领域的关键需求的现实解决方案。

12.2.6 可信计算应用技术

工业控制系统是定制的运行系统，其资源配置和运行流程具有唯一性和排它性特点，用防火墙、杀病毒、漏洞扫描可能会引起新的安全问题。采用可信计算技术，使每个计算节点、通信节点都有可信保障功能，系统资源、处理流程将很难被篡改和破坏，系统能按预定的目标正确运行。可信计算的宗旨是以可信计算安全芯片为核心，改进现有平台体系结构，增强通用计算平台和网络的可信性。

1. 可信计算平台

可信计算平台是指一种能提供可信计算服务的计算机软硬件平台，它基于可信平台模块 TPM（Trusted Platform Module），以密码技术为支持，以安全操作系统为核心，目标是成为信息安全领域中起关键作用的体系结构。能够提供可信计算服务的计算机软硬件综合实体，能向系统提供可靠性、可用性和信息的安全性。

2. 可信密码模块应用

可信密码模块属于硬件配置，它基于国家密码局自主加密算法构建。平台为用户提供专属私密存储区，其实就是在硬盘上分出一部分区域来作为私密区域保证数据安全，符合 TPM（可信赖平台模块）标准的安全芯片能有效地保护 PC，防止非法用户访问。

12.2.7 工控系统安全风险评估技术

与传统信息系统相比，工业控制系统更关注系统的实时性，强调系统的容错能力和可靠性，因而，工控系统风险评估在实施原则、技术手段和结果表现形式方面与传统信息系统风险评估相比，存在一定的差异。在实施原则上，工控系统风险评估强调零风险，从项目管理和技术应用的层面，将风险评估实施工作对工业控制系统和网络的正常运行可能产生的影响降到最低程度，同时，在安全检查实施前切实做好备份和应急措施。在技术手段上，工控信息安全风险评估需要将现场测试和实验室仿真相结合，以实验室工作为主，通过实际数据来建立工控模拟仿真环境，并在此基础上进行漏洞和隐患的验证；现场检查主要通过文档审阅、配置核查和人员访谈等手段，理解系统中潜在的安全漏洞，并不包括漏洞利用的环节。在结果表现形式上，传统风险评估的结果以系统存在的漏洞和隐患为基础，强调信息系统安全威胁对业务的连续性和数据的安全性造成的影响；而工控系统风险评估在此基础上更加注重由于信息安全事件所造成的经济损失、环境污染、人身伤害等社会范畴，往往需要结合工艺流程甚至供应链等方面内容进行宏观危害分析。

12.3 国外工业信息安全产业发展概况

2010 年，世界上首个专门针对工业控制系统编写的破坏性病毒 Stuxnet 震网病毒在全球造成巨大影响，并对实体设施造成严重损坏，造成伊朗核电站推迟发电数月，感染了全球超过 4.5 万个网络。2011 年，出现变种 Duqu 木马，专门破坏工控系统；同年，待测伊朗弹道导弹收到控制指令后突然爆炸，疑遭曾攻击布什尔核电站工业控制系统的 Stuxnet 蠕虫病毒攻击。2012 年，Flame 恶意软件专门针对石油工业收集数据，在中东和北非地区大范围传播。2013 年，dragonfly 蜻蜓组织制造了多起针对工控系统的网络安全事件，全球 1 018 座发电站感染此类程序。2014 年 6 月 23 日，芬兰信息安全厂商 F－secure 曝光了一种专门针对 ICS/SCADA 系统的恶意软件 Havex，它有能力禁用水电大坝、让核电站过载，已

经有黑客利用它攻击了欧美能源行业工控系统。2015 年 1 月 9 日，恶意软件攻击了德国钢铁企业的熔炉控制系统，让钢铁熔炉无法正常关闭。全球信息化程度最高的美国，从政府机构到个人消费者甚至国防领域，受到来自网络威胁和冲击的事件不断增加。据统计，2010—2013 年，美国工业控制系统网络应急响应小组（ICS－CERT）累计响应了超过 600 起工业控制系统信息安全事件。工控系统所面临的信息安全威胁日益严峻，各国政府和行业纷纷提出符合自身网络特征的措施及解决方案。

美国早在 20 年前就已经在政策层面上关注工业控制系统信息安全问题。近几年，美国政府发布了一系列关于关键基础设施保护和工业控制系统信息安全方面的国家法规战略。2002 年美国国家研究理事会将“控制系统攻击”作为需要“紧急关注”的事项，2004 年美国政府问责署发布《防护控制系统的挑战和工作》报告，2006 年发布《能源行业防护控制系统路线图》，2009 年出台《国家基础设施保护计划（NIPP)》，涵盖能源、电力、交通等 14 个行业工控系统的安全。2009 年，在 CERT 组织下，成立工业控制系统网络应急响应小组（ICS－CERT)，专注于工业控制系统相关的安全事故监控，分析执行漏洞和恶意代码，为事故响应和取证分析提供现场支持；通过信息产品、安全通告以及漏洞及威胁信息的共享，提供工业控制系统安全事件监控及行业安全态势分析，并以季度报告的方式公开发布。2011 年，美国国家标准与技术研究院及能源局发布了《实现能源供应系统信息安全路线图》《工业控制系统安全指南》和《改进 SCADA 网络安全的 21 项措施》等相关的工控系统的安全建设标准指南。除了上述国家层面的政策指导外，美国政府资助了 2 个工业控制系统信息安全国家级专项计划：美国能源部（DoE）的《国家 SCADA 测试床计划（NSTB)》和美国国土安全部（DHS）的《控制系统安全计划（CSSP)》。传统信息安全厂商赛门铁克、MCAFEE、思科以及传统工控厂商罗克韦尔、通用电气以及一些新兴的专业工控安全厂商，在工控系统的安全防护及产品服务提供方面也都展开了深入研究、实践及产业化工作，总体上处于领先地位。

与美国相比，欧盟及欧洲各国的关键基础设施保护和工业控制系统信息安全的工作起步较晚。但针对关键基础设施保护和工业控制系统信息安全，欧洲已经开展了一系列的大型专项计划。2004—2010 年，欧共体委员会发布了一系列关于关键基础设施保护的报告；2011 年 12 月，欧洲网络和信息安全局（ENISA）发布了保护工业控制系统系列报告，全面总结了当前工业控制系统信息安全的现

状。2012 年 12 月，欧洲网络和信息安全局（ENISA）发布了《国家网络安全战略：制定和实施的实践指南》报告，形成了统一全面的国家网络安全具体行动。2013 年 4 月 29 日，法国总统府发布了《国防与国家安全白皮书》，法国国防预计投入总额 1 792 亿欧元，为国防稳定奠定基础。

以德国西门子、法国施耐德电气为代表的工业控制系统提供商，为用户提供了相应的安全产品、服务及相应的解决方案。德国西门子研究院设有工控安全实验室，可提供安全咨询服务、培训、漏洞及补丁的发布，进行西门子工控系统的漏洞修补，提供工控防火墙及相应的工控安全解决方案等安全防护产品。同时，施耐德电气公司对其自身产品进行修补漏洞，并结合其工控安全防火墙为用户提供必要的工控安全解决方案。

在专业的工控安全厂商方面，加拿大 Tofino（多芬诺）公司曾以 Tofino 工控系统防火墙成为业内领先的工控系统安全专业厂商，其产品在石化等多个行业应用广泛。科诺康公司（Codenomicon）则以其用于漏洞发现的 fuzzing 测试工具而在工控系统安全领域拥有重要的地位。此外，一些开源组织提供 Nessue 等工控安全工具，支持系统漏洞扫描与分析等功能。

2013 年，日本政府开始推出培养所谓“正义黑客”的计划，希望保护各种企业和组织。同年 5 月，在日本宫城县多贺城市建立了“东北多贺城总部”。该组织以日本控制系统安全中心（CSSC）为核心，由包括日立、东芝在内的 18 个团体共同发起，总共投入 20 多亿日元，具备 7 种类型的控制装置和系统，用以培训黑客维护工场、发电站等工业控制系统安全的技能。该总部内，模拟建设了各类火力发电站、化工厂、汽车制造等工厂基础设施所使用的工业机器人、楼宇空调和照明系统，是日本首个实景网络攻击的模拟攻防场所。培训人员通过体验网络攻击，了解系统弱点，从而掌握防御技能。2015 年上半年，日本电信巨头 NTT 集结电力燃气、信息通信、航空、铁路等重要基础设施的 15 个行业 30 家公司成立新组织，在应对网络攻击方面展开合作。这些不同行业的企业将横向合作加强网络安全措施，提高防御能力。

在安全标准体系建立方面，国际上已建立了一些工控系统信息安全方面的国际及国家技术组织标准，美国国家标准与技术研究院（NIST）发布了工业控制系统安全指南（Guide to Industrial Control Systems（ICS）Security），美国国家标准学会（ANSI）发布了 ISA—99 等标准或指南，另外，还有 NIST：NIST800—82、WIBM—2784、IEC 62351 和 IEC62443 等。

12.4 国内工业信息安全产业发展概况

近年来，我国军工、石油石化、核电水电等重点行业工业控制系统安全防护问题得到了高度重视。国家陆续出台了多项促进工控系统信息安全的政策和法规。2011 年工信部出台《关于加强工业控制系统信息安全管理的通知》，2012 年国务院印发《国务院关于大力推进信息化发展和切实保障信息安全的若干意见》，2014 年 12 月发布《工业控制系统信息安全》国家标准，2015 年 11 月工信部发布落实《国务院关于积极推进“互联网 +”行动的指导意见》行动计划（2015—2018 年），重点提及加强工业信息系统安全保障体系建设。在此期间，国家发改委组织实施了多项工业控制系统信息安全专项课题，鼓励企业开展相关产品研究，力争实现产业化发展。

据《2014 年工业控制系统信息安全蓝皮书》显示，我国信息安全市场容量为 194 亿元，其中工业信息安全市场容量在 23.28 亿元，而这其中工控系统信息安全容量不到 2 亿元，只占信息安全整体的 1%。这一市场中，占比最大的是电力市场，石油化工占比第二，其他还包括冶金、烟草、煤矿等小规模但增长迅速的工控系统信息安全市场。市场产品主要以工业防火墙和工业隔离网关等硬件产品为主，专用杀毒软件有一定应用，嵌入式模块产品有少量应用，安全服务尚处于初步导入期，其他如入侵防护、安全审计、现场运维管理平台、工控可靠性安全管理平台等产品处于产品布局期。工控安全防护技术开始试点应用，包括工控防火墙、工控异常监测系统、主机防护软件等产品，但离大规模部署和应用还有一定差距。由于当前工控安全市场尚未完全成熟，我国工业控制系统信息安全企业按照提供商技术背景不同划分为两大主要阵营，一是和利时、浙大中控、四方继保、南京自动化、三维力控和北京亚控等具有工控系统背景的厂商，该背景下的企业在短期内较难大幅提升工控系统的防攻击能力，但能够利用对工控系统及行业业务流程熟悉的优势，集成各类功能安全类产品以及信息安全类产品，提供整体的安全解决方案；二是绿盟科技、启明星辰、天融信和中科网威等传统的信息安全厂商，该背景下的企业能够提供专业完善的信息安全产品，当工控系统受到来自系统、网络层面的黑客攻击时，这些企业的信息安全产品具有更好的抗攻击性。另外，国内兴起一些专注于工控安全的新兴公司，诸如力控华康、海天伟业、中京天裕、匡恩科技等。这些公司目前规模较小，但拥有一定的工控行业背景，且因进入工控安全领域较早，多声称拥有自主工控安全产品（工控防火墙、

工控系统隔离设备）和安全解决方案。随着市场的逐步完善，工控安全行业将以专注工控安全的“工控安全厂商”为主导。

无论是国外还是国内，工控信息安全标准的需求非常强烈，标准制定工作也正在如火如荼地开展，但目前我国标准化成果还极为有限。从总体上看，我国工业控制系统信息安全标准化工作正在积极稳步地推进，拟逐步形成涵盖安全管理、系统安全防护、产品安全评估等全面的工控信息安全标准体系，但工控系统的特殊性导致目前工控安全技术和管理仍处于探索阶段，目前绝大多数标准正处于草案或征求意见阶段。现已发布的标准包括国家标准两项：GB/T 30976. 1—2014《工控系统信息安全　第 1 部分：评估规范》、GB/T 30976. 2—2014《工控系统信息安全　第 2 部分：验收规范》；行业标准三项：JB/T 11960—2014《工业过程测和控制安全　网络和系统安全》、JB/T 11961—2014《工业通信网络　网络和系统安全　术语、概念和模型》、JB/T 1 1962—2014《工业通信网络　网络和系统安全　工业自动化和控制系统信息安全技术》。目前，国内的科研机构，如工信部一所、四所、中国电科院、中科院信工所、沈阳自动化所等正积极从事政策、标准、验证环境建设及技术、方案方面的研究工作。由中国电子技术标准化研究院信息安全研究中心、全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会等 24 家单位共同发起组建的“工业控制系统信息安全产业联盟”，在工业控制系统信息安全的体系建设、等级保护、风险评估、标准制定、产品开发和评测等方面也进行了探索。

12. 5　存在的问题

1. 法律体系不完善，安全意识欠缺

目前，我国信息安全法律体系对信息安全保障专业的实际洞察与理性思考不足，更缺乏对国家信息安全战略以及信息安全相关标准的掌握和了解，信息安全法律体系不完善。而信息安全治理的重大问题之一是信息安全意识匮乏，企业管理层、技术人员及普通员工的安全意识薄弱正在成为企业面临的最大风险。无论安全管理体系标准还是国内的信息保护要求，都提到对人员的安全意识教育。但目前在具体实施中，一部分人没有认识到信息安全的重要性，一部分人忽视或者躲避安全流程和技术控制措施，提高企业全体人员的信息安全意识仍有重重困难，这与组织本身缺乏对于信息安全意识教育的正确认识不无关系。

2. 工业控制系统的信息安全管理仍存在诸多问题

我国在工业控制系统的信息安全管理仍存在诸多问题。例如，大型制造行业普遍存在因设备使用时间较长，安全防护能力缺失等问题；而在诸如石化电力等重要基础设施保障行业，又因为应用和新技术的更替，海量的分布式控制组件与业务单元都使电力控制网络变得愈发复杂，在可用性面前，安全防御机制难免出现疏漏。2011 年，工业和信息化部在发布的《关于加强工业控制系统信息安全管理的通知》中也指出，我国工业控制系统信息安全管理工作中仍存在不少问题，主要是对工业控制系统信息安全问题重视不够、管理制度不健全、相关标准规范缺失、技术防护措施不到位、安全防护能力和应急处置能力不高等。与传统的基于 TCP/IP 协议的网络与信息系统的安全相比，工业控制系统必须采取特殊的安全防护措施。当前，我国工控系统的安全保护水平明显偏低，长期以来没有得到关注，表现在缺乏足够的政策、制度来监管控制系统的安全，未对控制系统采取有效的分层保护措施、未经允许控制的远程访问等。

3. 工业控制信息安全防护设备应用尚未普及

我国缺乏应用于工业控制系统的安全防护产品，且该类产品门类不全，未形成应用于各个系统层级、各个应用领域的安全防护产品体系。在网络安全防护方面，普遍使用的是信息系统防火墙产品，无法对工业控制系统实施有效的信息安全防护；极个别企业的重要工业控制系统在数据采集层和控制层之间安装了专业的工业防火墙，解决 OPC 通信采用动态端口带来的安全防护瓶颈问题。据受调查企业普遍反映，由于企业安全意识薄弱和职责不清问题，专用的工业防火墙等工业控制信息安全防护产品尚未得到大规模应用。

4. 工业控制系统市场产品对外依赖性强，关键核心数据可能被窃取

目前，我国工控市场规模至少在 300 亿元以上，传统工业技术改造、工厂自动化、企业信息化都需要大量的工业自动化系统，从中国的工控及自动化市场发展来看，中国拥有世界最大的市场。然而，由于我国的工控业发展相对滞后，具有国际信誉的品牌产品尚未形成，继而形成了国内工业用户不用国产工控产品，而国产工控产品因为没有广泛的应用基础，产品又丧失成长机会这样的恶性循环，对外依赖性强，使“自主可控”更是难以实现。据调研，目前无论是分布式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）还是监控和数据采集（SCADA）系统，美、日、欧各国公司的产品在我国工控市场上都占据了主导地位。中国

DCS 市场主要供应商依次为瑞典 ABB、美国艾默生公司（Emerson）、美国霍尼韦尔公司（Honeywel），其所占的市场份额分别为 15.3%、13.6% 和 11.8%；PLC 市场的 95% 以上被国外产品占领，主要是美国罗克韦尔（Rockwell）、通用电气（GE）；德国西门子（Siemens）；法国施耐德；日本三菱电机（Mitsubishi electric）、欧姆龙（Omron）以及韩国、中国台湾地区等 PLC 产品。SCADA 设备以进口品牌为主，全球石油化工上游市场 SCADA 供应商主要有：艾默生、ABB、霍尼韦尔、日本横河（Yokogawa）、西门子、英维思（Invensys）、罗克韦尔、通用电气等。DCS、PLC 和 SCADA 是关键基础设施控制系统的重要组成部分，其安全性和可靠性与基础设施的安全性密切相关。关键基础设施大量运用国外产品，远程维护的过程中容易造成核心数据信息泄露，面临被攻击的威胁，同时，也严重阻碍了我国工控产业本身的发展，使得我国工业信息安全技术研究仍处于消极防御阶段。

12.6 发展重点

1. 加强信息安全基础理论与关键技术研究

开展针对关键基础设施及其控制系统的新型网络威胁的跟踪研究，分析网络威胁的主要特征和关键技术，探讨量子加密、光学加密、数据库加密等基础理论与关键技术研究，建立完备的主动防御网络安全防护体系研究，有针对性地开展网络态势感知、大数据分析、漏洞挖掘等技术研发，搭建相关技术平台，提高国家对信息安全风险隐患发现、监测预警等能力。

2. 加强关键基础设施及其控制系统的安全评估

制定关键基础设施及其控制系统安全检查和风险评估的相关标准，加快培育专业技术力量，组织安全检查和风险评估。督促相关企业建立信息安全防护体系，落实信息安全技术防护和管理措施。通过检查和评估，发现安全防护中的薄弱环节，有针对性地提出风险消减和改进防范措施。

3. 加快推动国产技术产品对国外产品的替代

针对当前我国关键基础设施及其控制系统中信息技术产品高度依赖进口的现状，加强高端通用芯片、操作系统等基础技术攻关，支持国内企业基于国产芯片研发信息技术装备、大型 SCADA 等控制设备和系统。加快国产技术产品的应用推广，落实首（台）套政策，逐步实现对国外产品的替代，真正实现“以我为

主，自主可控”。

4. 搭建工业控制系统漏洞检测等公共技术平台

建立国家级工业控制系统数字仿真测试环境，通过实验室测评、现场评估、渗透测试等方式，对工业控制系统进行网络脆弱性评估。建立国家级工业控制系统漏洞检测和管理发布平台，对工业控制终端、通信设备以及芯片、软件等软硬件产品进行漏洞检测，建立工业控制系统漏洞数据库。

5. 加强企业信息安全教育，提高信息安全防护能力

联合关键基础设施主管部门及相关企业，开展针对关键基础设施的网络攻防演习，对关键基础设施进行模拟攻击，检验其对网络攻击的承受能力，以及攻击发生后的应急处置和应对能力。在实践中摸索建立企业和政府间威胁信息共享、协同应急处置等机制。

12.7 发展趋势

1. 数据安全成为新一代工业信息安全体系的主要特征

源于工业控制系统、通信技术、云计算和大数据的快速发展，工业信息化、智能化程度明显提高，继而推动数据集中化趋势，数据成为企业信息的核心资产，数据安全自然成为工业信息安全的高地。传统的系统安全、边界安全将难以防卫以数据窃取为主要目的的攻击行为，必须创新数据安全防御才能应对云时代、移动互联网时代以及大数据时代的新变化。其中，数据加密技术是最基本的安全技术，被誉为信息安全的核心，也是保护数据传输和存储安全的唯一实用方法和最重要防线。

2. 以细分和服务为核心的信息安全业态渐成主流

随着市场的逐步完善，信息安全产业的细分化趋势越发明显，工控安全行业将以专注于工控安全的“工控安全厂商”为主导。同时，云计算、大数据等创新技术正引领工业技术的发展与变迁，同时，也让工业信息安全进入了全新时代。随着安全威胁与入侵事件的复杂化，工业网络安全的传统保障技术和安全产品将难以满足社会需求，单纯卖硬件和软件已经沦为价值链的末端。整合多层次的安全架构，提供简单易用的综合解决方案成为行业发展的首选。以安全作为切入点，以硬件和软件作为导入口，提供全方位的安全服务，以彻底接管用户安全需求并提供衍生服务的商业模式将逐步走向成熟。

12.8 发展对策

1. 建立健全国家层面的工业信息安全法律法规及管理体系

一是建立健全国家网络安全组织架构，强化中央网络安全和信息化领导小组的统一协调指挥，提高总揽全局的整体规划能力和高层协调能力，同时，明确公安部、保密局、密码办、工信部等信息安全部门的职责；二是强化国家网络安全管理手段，制定关键基础设施网络安全保护条例，政府信息安全保护条例等法规，严格执行相关法律法规，加大违法成本和打击力度；三是提升网络安全管理能力；不断提升相关机构的网络安全检测能力；四是规范信息监管条例，明确告知并罗列所监管信息的详细情况，包括监管目的、监管范围和监管期限，提高监管透明度。

2. 加大信息安全自主创新环境建设，加强信息安全基础研究

一是大力支持自主可控工业信息安全产业的发展，通过资金和其他优惠政策鼓励有实力的企业介入开发周期长、资金回收慢的工业信息安全基础产品，比如安全操作系统、安全芯片以及工业控制系统等；二是依托高校、研究机构和企业自主创新平台，加大核心信息技术的投入，加强量子加密等基础理论与关键技术研究，推动研究成果转化；三是加强工业信息安全市场的政策引导，合理利用国际规则，约束国外企业在国内市场的发展，为自主信息安全产品提供更好的生存空间。

3. 建设自主可控的工业信息安全生态体系

一是发挥举国体制优势，实现核心技术突破；二是积极推动关键工业信息技术产品的国产化替代，在关系国家安全的重点领域，有序开展国产产品和设备的替代工作；三是推动全产业链协同发展。以资本为纽带实现资源整合及产业融合，加快发展和形成一批掌握关键核心技术、创新能力突出、国际竞争力强的跨国企业。

4. 发展结构完整层次分明的工业信息安全产业

一是重点培育几家具有较强工业信息安全实力的企业，专门为政府、军队等提供整体架构设计和集成解决方案，形成解决国家级信息安全问题的承包商；二是重点发展一批类似于 IBM、微软、思科等能提供行业解决方案和完整产品线的专业信息安全企业；三是鼓励发展提供专用、新型技术和产品的独立信息安全企

业；四是加强工业控制系统背景与信息安全背景的企业合作，形成专注于工控安全的“工控安全厂商”。

5. 加强工业信息安全技术产品市场规范

一是启动核心工业信息技术产品的信息安全检查和强制性认证工作，对关键领域应用的产品进行安全等级检测，将安全产品的强制市场准入制度引入到核心工业信息技术产品领域；二是加强对国外进口技术、产品和服务的漏洞分析工作，对从事关键行业数据搜集和数据分析业务的企业采取备案和黑名单制度；三是建立新兴技术的工业信息安全预警机制，对掌握关键领域数据的企业进行管控。

参考文献

[1] 范科峰．工控安全冷思考［J］．中国经济和信息化，2014（17）：52－53.

[2] 周季礼，于东兴，吴勇．美国打造自主可控信息安全产业链的主要举措及启示［J］．信息安全与通信保密，2014（11）：62－67.

[3] 王奕飞．中国网络安全战略研究［D］．吉林大学，2015.

[4] 张建军，程鹏．智能化工业控制系统的信息安全保障［J］．中国工业评论，2015（10）：54－61.

[5] 杜京哲．从中国工业经济视角看我国工控系统信息安全发展前景［J］．计算机安全，2014（11）：11－14.

[6] 王小山，杨安，石志强，等．工业控制系统信息安全新趋势［J］．信息网络安全，2015（1）：6－11.

[7] 李航，朱广宇．建立健全我国工业控制系统信息安全体系［J］．微型机与应用，2015（1）：13－16.

[8] 李光朋．工业控制系统信息安全建设思路［J］．自动化博览，2015（10）：62－66.

[9] 刘威，李冬，孙波．工业控制系统安全分析［J］．信息网络安全，2012（8）：41－43.

[10] 彭勇，江常青，谢丰，等．工业控制系统信息安全研究进展［J］．清华大学学报（自然科学版），2012（10）：1396－1408.

[11] 张延．工业控制系统信息安全动向及发展对策研究［J］．电子产品可靠性与环境试验，2012（6）：48－53.

[12] 许东阳．国内外工业控制系统信息安全标准及政策法规介绍［J］．自动化博览，2013（1）：31.
[13] 闫晓丽．加强我国工业控制系统安全性的建议［J］．信息安全与技术，2013（2）：10－12，18.
[14] 黄建润，朱文柳，邓阳明．探究工业控制系统网络的安全问题［J］．电子制作，2013（8）：156.
[15] 绿盟科技．2014 工控系统安全态势报告［R］，2014.
[16] 工业和信息化部赛迪智库．信息安全产业发展白皮书［M］．2015.
[17] 夏春明，刘涛，王华忠，等．工业控制系统信息安全现状及发展趋势［J］．信息安全与技术，2013（2）：13－18.

第 3 篇

智能制造装备产业发展战略指导

第 13 章　智能制造装备产业发展规划

13.1　发展重点

2015 年 5 月，《中国制造 2025》由国务院正式发布，这是我国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领，是我国政府对新常态下促进中国制造业发展作出的国家战略部署，具有十分重要的现实和长远意义。《中国制造 2025》围绕经济社会发展和国家安全重大需求，选择了十大优势和战略产业作为突破点，力争到 2025 年达到国际领先地位或国际先进水平。这十大重点领域是：新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农业装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。智能制造更是作为实施《中国制造 2025》的突破口和主攻方向。根据工信部的部署，智能制造就是要研发出一批智能化产品，同时要实现生产过程的智能化、管理的智能化，将信息技术用在整个生产经营管理的各个环节和过程，大大提高效率和效益。智能制造是建立在工业互联网上的制造，通过智能制造，实现各种生产要素的无缝衔接、实时通信和资源共享。

智能制造装备产业发展重点如下：

1. 建立智能制造基础理论与技术体系

重点突破生产过程智能化、制造装备智能化、新业态新模式智能化、管理智能化、服务智能化中的基础理论与共性关键技术，完善智能制造基础技术、技术规范与标准制订，为我国制造业实现低碳、高效、安全运行和可持续发展提供基础理论与技术支撑。

预期指标：重点突破一批智能制造的基础理论与共性关键技术，建立和完善我国智能制造技术规范与标准体系。培养造就一支高水平、高素质的科技创新队伍，建设一批高水平的国家重点实验室、工程技术研究中心和示范基地，发表高水平学术论文，获得一大批核心发明专利。

2. 构建工业互联网及信息安全平台

加强工业互联网基础设施建设，推进工业互联网关键资源管理平台和关键技术试验验证平台建设。建立智能制造网络信息平台，完善工业信息安全保障系

统，全面提高信息安全保障能力。

预期指标：制定工业互联网整体网络架构建设规划与布局，建立低时延、高可靠、广覆盖的工业互联网。健全信息安全法律法规体系，完善工业信息系统信息安全标准体系，安全可靠的产业生态体系初步建成。

3. 强化智能制造工业基础能力

研发一批与智能制造产业密切相关的共性基础技术，强化前瞻性基础研究，着力解决影响核心基础零部件（元器件）产品性能和稳定性的关键共性技术，突破先进基础工艺、关键基础材料和产业化瓶颈。

预期指标：解决一批智能制造的基础技术与部件，推进智能制造技术创新的跨越式发展。到 2020 年，40% 的核心基础零部件、关键基础材料实现自主保障。到 2025 年，70% 的核心基础零部件、关键基础材料实现自主保障，80 种标志性先进工艺得到推广应用，部分达到国际领先水平，建成较为完善的产业技术基础服务体系，逐步形成整机牵引和基础支撑协调互动的产业创新发展格局。

4. 攻克一批智能化高端装备及产品

研制一批面向国民经济支柱产业的智能化高端装备及产品，重点突破大型飞机、航空发动机及燃气轮机、民用航天、智能绿色列车、节能与新能源汽车、海洋工程装备及高技术船舶、智能电网成套装备、高档数控机床、核电装备、高端诊疗设备等领域的智能化设施。

预期指标：突破一批标志性的智能化高端装备，发展和培育一批高新技术核心企业。提升自主知识产权高端装备市场占有率，打破国外产品垄断核心，增强基础设施配套能力，重要领域装备达到国际领先水平。

5. 研发制造过程智能化技术与装备

攻克一批制造过程智能化核心关键技术与装备，推进制造业核心业务与信息化的深度融合，提高企业自主创新能力和综合竞争力。

预期指标：在重点领域试点建设智能工厂/数字化车间，制定制造信息互联互通的技术标准。培育一批具有自主知识产权、自主品牌和国际竞争力的重点企业。

6. 推广一批重大工程示范应用

分类实施流程制造、离散制造、智能装备和产品、新业态新模式、智能化管理、智能化服务等试点示范及应用推广。通过智能化高端装备、制造过程智能化

技术与系统、基础技术与部件的研发、示范应用及产业化，提高高端装备、技术与系统的自主率，带动我国制造业技术升级，实现制造业高效、安全及可持续发展。

预期指标：实现智能化高端装备、制造过程智能化、基础技术与部件的示范应用，部分实现产业化，高端装备、技术与系统的自主率提高，部分行业的技术水平进入国际先进行列。建设一批特色和优势突出、产业链协同高效、核心竞争力强、公共服务体系健全的新型工业化示范基地。

13.2 发展目标

到2020年，我国智能制造装备整体水平进入国际先进行列，制造业重点领域智能化水平显著提升，产业销售收入达到30 000亿元以上；建成完善的产学研用相结合的技术创新体系；国内市场占有率达到60%；产业集中度大幅度提升，形成一大批具有国际竞争力的产业集聚区和大型企业，产品出口率达到15%。试点示范项目运营成本降低30%，产品生产周期缩短30%，不良品率降低30%。

到2025年，制造业重点领域全面实现智能化，试点示范项目运营成本降低50%，产品生产周期缩短50%，不良品率降低50%。自主知识产权高端装备市场占有率大幅提升，核心技术对外依存度明显下降，基础配套能力显著增强，重要领域装备达到国际领先水平。

13.2.1 操作系统与工业软件

到2020年，突破部分关键核心技术，基本形成中国工业软件技术标准与生态体系，中低端市场占有率超过30%。聚焦生产效率提升与服务型制造，自主“云端”+“终端”工业大数据平台在重点行业的应用普及率超过40%。

到2025年，绝大部分核心技术取得突破，形成自主可控的操作系统与工业软件及其标准体系，自主工业软件市场占有率超过50%。“互联网+”智慧工业云在重点行业的应用普及率超过60%。形成基于智能化互联产品和自主工业软件的工业互联网。

13.2.2 智能制造核心信息设备

到2020年，基本建成智能制造核心信息设备标准体系，突破一批智能工业核心信息设备领域的关键技术，使我国的智能制造基础通信设备、工业控制设备、工业传感器、智能仪器仪表和检测设备、制造物联设备、工业信息安全产品

在国内得到规模化应用，国内市场的占有率达到40%以上，培育5家以上年收入超过100亿元的相关企业。

到2025年，建成自主可控、安全可靠、性能先进的智能制造核心信息设备产业生态体系和技术创新体系，国产智能制造核心信息设备在国内市场占据主导地位，国内市场的占有率达到60%，总体技术水平达到国际先进水平。

13.2.3 高档数控机床与基础制造装备

到2020年，高档数控机床与基础制造装备国内市场占有率超过70%，数控系统标准型、智能型国内市场占有率分别达到60%和10%，主轴、丝杠、导轨等中高档功能部件国内市场占有率达到50%。

到2025年，高档数控机床与基础制造装备国内市场占有率超过80%，其中用于汽车行业的机床装备平均无故障时间达到200h，精度保持性达到5年；数控系统标准型、智能型国内市场占有率分别达到80%和30%；主轴、丝杠、导轨等中高档功能部件国内市场占有率达到80%；高档数控机床与基础制造装备总体进入世界强国行列。

13.2.4 工业机器人

到2020年，基本建成以市场为导向，以企业为主体，产学研用紧密结合的机器人产业体系。自主品牌工业机器人国内市场占有率达到50%，国产关键零部件国内市场占有率达到50%，产品平均无故障时间（MTBF）达到8万h；服务机器人在养老、康复、社会服务、救灾救援等领域实现小批量生产及应用；新一代机器人的核心技术取得突破；培育出2~3家年产万台以上、产值规模超过百亿元、具有国际竞争力的龙头企业，打造出5~8个机器人配套产业集群。

到2025年，形成完善的机器人产业体系，机器人研发、制造及系统集成能力力争达到世界先进水平。自主品牌工业机器人国内市场占有率达到70%以上，国产关键零部件国内市场占有率达到70%，产品主要技术指标达到国外同类水平，平均无故障时间达到国际先进水平；服务机器人实现大批量规模生产，在人民生活、社会服务和国防建设中开始普及应用，部分产品实现出口；新一代机器人样机研制成功，并实现一定规模的示范应用；有1~2家企业进入世界前五名。

13.2.5 增材制造

到2020年，建立较为完善的增材制造产业体系，整体技术水平保持与国际同步，在航空航天等直接制造领域达到国际先进水平。树脂、金属类增材制造装备国产化率达到60%以上；初步形成面向增材制造的软件行业；增材制造技术

在各制造领域内均有应用，形成良好的应用示范效果。

到 2025 年，形成完善的增材制造产业体系，显著影响产品设计和日用品制造模式。实现打印材料的基本供应，价值大的元器件国产化供应。增材制造成为航空航天领域附加零件的小批量制造、产品研发设计、创新创意及个性化产品的实现手段，以及新药研发、临床诊断与治疗的工具。形成完善的产业标准体系。

13.3 技术创新发展规划

13.3.1 操作系统与工业软件

实时操作系统与工业软件是制造业数字化、网络化、智能化的基石，是新一轮工业革命的核心要素。具有实时、稳定、安全、高效的工业操作系统及高端制造业嵌入式系统、工业大数据平台与制造业核心软件为代表的基础工业软件，未来将被广泛应用于各领域。

到 2020 年，构建可裁剪的工业基础软件平台；研制设备端的嵌入式数据管理平台与实时数据智能处理系统；开发云端具有海量处理能力的工业数据处理软件栈；研发“互联网 +”智慧工业云体系架构与标准体系，构建工业资源库；研制工业能源管理智能化软件与协同管控平台；研制涵盖从设计研发、生产制造到产品服务的全生命周期行业应用软件。

到 2025 年，研制高安全、高可信的实时工业操作系统，实现与主流控制设备、CPU 与总线协议的适配，并在此基础上研发出一套嵌入式软件接口、组态语言与集成开发环境，形成嵌入式操作系统的安全性、可信性以及性能的测评标准和规范，在重要领域推广应用。构建覆盖产品全生命周期和制造全业务活动的工业大数据平台；构建“互联网 +”智慧工业云平台，推动工业企业互联网化，形成全行业与跨行业的工业应用生态系统。

13.3.2 智能制造核心信息设备

智能制造核心信息设备是制造过程各个环节实现信息获取、实时通信和动态交互及决策分析和控制的关键基础设备。包括智能制造基础通信设备、智能制造控制系统、新型工业传感器、制造物联设备、仪器仪表和检测设备、制造信息安全保障产品。

到 2020 年，制定智能装备、数字化车间、数字化工厂的技术标准与规范，制定制造信息互联互通的技术标准。解决传感器无线通信技术、传感器信号处理技术等工业传感器核心技术；研究知识工程技术、情感感知技术、模式识别技术

等人工智能技术；研究三维空间 RFID 注册定位技术。

到 2025 年，研究制造信息互联互通接口技术、提供设备与设备之间、设备与系统之间协议互操作整体框架、协议互操作服务接口定义。研究传感器可靠设计与试验技术、传感器精密制造与检测技术；研究自决策技术、自执行技术、可视化技术；研究工业物联网信息三维建模、搜索显示与交互技术等增强现实技术。

13.3.3 智能机床

智能机床是最重要的智能制造装备，具有感知环境和适应环境的能力，智能编程的功能，宜人的人机交互模式，网络集成和协同能力等智能特征，将成为未来 20 年高端数控机床发展的趋势。

到 2020 年，数控系统装有丰富的传感器，构成完备的感知网络；环境适应能力、检测诊断能力和实时插补运算能力有很大提升；智能机床采用直线电机和电主轴使机械结构简化，可达到更高速度和更高精度，便于自动识别负载特性，保证控制参数优化，实现误差综合补偿；新一代智能数控系统将具有加工工况（振动、负载、热变形等）实时感知、负载智能监控、振动主动抑制和刀具磨/破损监控等功能；新一代基于几何与物理复合约束的智能化编程系统将实现商品化。

到 2030 年，智能机床具有利用感知网络主动分析、定量评估整机性能参数变化趋势的功能；面向自身性能变化的自主决策和自律控制、智能维护和补偿功能；对自身故障/亚故障状态进行自诊断自修复功能；工件/刀具/机床加工安全智能保护、加工参数的智能选择和基于网络（含物联网）的生产管理服务等功能；基于虚拟现实技术的零件加工过程分析和加工导航功能；具有参与制造网络集成和协同的能力。

13.3.4 工业机器人

工业机器人和自动引导小车（AGV）能代替人从事某些单调、频繁和重复的长时间作业，或是危险、恶劣环境下的作业，例如喷涂、焊接、搬运、加工、装配等，是现代制造系统中的典型装备。力/视觉反馈扩展了机器人对环境的感知能力，提升与环境的交互能力，工业机器人和电子制造装备已采用力/位混合控制、阻抗控制、视觉引导的位置控制等智能技术。在未来 20 年，机器人与环境的交互更加紧密，需要进一步提升机器人对自身状态和作业环境的实时感知能力，提高机器人决策的自律性，增强对环境和任务的适应性。

到 2020 年，具有视觉感知和视觉伺服功能、力反馈和力 / 位混合控制功能的工业机器人广泛应用于航空发动机、集成电路、汽车、计算机和家用电器等各种自动生产线中，智能 AGV 在非结构环境中得到广泛应用，智能机器人在真空和超净环境中得到推广。

到 2030 年，多机器人协作系统、智能规划与执行系统、具有多种感知功能的工业灵巧机械手将在实际生产中得到应用。模块化、可重构、网络化机器人进入康复医疗、国防军事、排爆搜救等危险环境作业等领域。智能机器人的自律控制和人机交互技术进一步完善，并向无人汽车/无人飞机驾驶领域扩展。

13.3.5 增材制造

增材制造技术的应用提高了产业的供应链效率以及材料利用率，是实现个人化、定制化、商业化产品生产的重要途径。随着新材料、高端制造装备技术的突破，未来将广泛运用于装备研制、航空航天、生物医疗、汽车以及消费电子等领域。

到 2020 年，基本实现钛合金、高强钢、部分耐高温高强度工程塑料等专用材料的自主生产，树脂、塑料以及金属类材料 3D 打印技术成熟，满足产业发展和应用的需求。增材制造所需的建模、设计、仿真、专用工艺软件及控制软件在三维图像扫描、计算机辅助设计等领域实现突破。解决金属构件成型中高效、热应力控制及变形开裂预防、组织性能调控，以及非金属材料成型技术中温度场控制、变形控制、材料组份控制等工艺难题。

到 2025 年，陶瓷和复合材料 3D 打印、4D（智能材料与结构打印）、5D（生物材料与活性器官）等技术实现应用，在航空航天领域能够完成复杂零件的小批量制造，显著影响产品设计和日用品制造模式。解决精度控制、高效制造、多材料功能零件 3D 打印技术等核心技术，建立完备的 3D 打印技术服务网络，形成以互联网技术为依托的“云制造”模式。

13.4 发展布局

13.4.1 测控装置

1. 新型传感器

以离散制造过程所需的传感器为重点，以新原理传感技术，微型化和低功耗技术，传感器智能技术和网络技术作为突破点，开发高可靠感应式接近开关、光

电传感器、光纤及分布式光纤传感器、微机电（MEMS）传感器、复合传感器等产品，并在高档数控机床和基础制造装备以及智能化纺织印染生产线、工业机器人、自动生产线等典型智能装备中推广应用。

2. 智能控制系统

围绕流程制造和离散制造所需的控制系统，加强优化控制技术、精密运动控制技术、工业通信网络技术和安全技术的研究，积极开发现场总线分散型控制系统（DCS）、高端可编程控制系统（PLC）、安全控制系统和专用控制系统等产品，并在大型石化装置、汽车焊接生产线、自动仓储传送分拣系统、数字化车间上推广应用。

3. 智能仪表

以高精度、高稳定性、智能化现场仪表为重点，加强对智能仪表的可靠性技术、智能技术、自诊断技术、现场总线和无线通信技术的研究。积极开发智能化压力、流量、物位、热量、工业在线分析仪表；高可靠执行器、驱动与伺服装置等产品，并在大型石油化工装备、自动化煤化工设备、智能化冶金装备上推广应用。

4. 精密测量仪器

以智能制造过程中环境和安全监测以及新型材料性能试验相关的精密测量仪器为重点，加强质谱/色谱/光谱/能谱检测技术、质谱/光谱以及质谱/色谱联用技术、特种环境下变形测量技术、动态力学测量技术等核心技术的研究，开发出一批水质污染源监测系统、激光气体分析仪、便携应急用环境检测仪器、有毒有害物质检测用质谱仪和超效液相色谱仪、全自动力学性能试验机和高速动平衡机等产品，在产品质量与安全性检测、工厂污染监测、安全生产和突发事件处理、新型材料性能试验等领域推广应用。

13.4.2 关键执行与传动零部件

1. 液压—气动—密封元件及系统

以高性能、高可靠性元件为发展重点，掌握精密铸造、热处理、污染控制、伺服控制等核心技术，积极开发高压大流量液压元件和液压系统、智能化阀岛、智能定位气动执行系统、高性能密封装置等产品，满足高档数控机床与基础制造装备、智能工程机械、工业机器人等装备的需求。

2. 高速、精密和重载轴承

重点发展高速、精密和重载轴承，加强抗疲劳制造技术、精确可控热处理技术、减振降噪技术等核心技术攻关，积极开发高档数控机床轴承和高速、高刚度、大功率电主轴、20 000～40 000r/min 高速电主轴、多轴联动主轴头、高速动车组轴承、航空航天专用轴承等产品，推广在战略性新产业装备中的应用。

3. 精密传动装置

重点发展液力和高速、精密和重载齿轮传动装置，突破基于载荷谱的动态仿真设计技术、电液融合控制技术、抗疲劳长寿命制造技术，积极开发高速精密机床齿轮、机器人减速器、轨道交通装备齿轮传动装置液力变矩器、高转速大功率液力偶合器调速装置等产品，满足高档数控机床、智能工程机械、轨道交通装备的配套需求。

4. 变频调速系统

围绕冶金、矿山、电力、交通、国防、石油、煤炭、化工和轻工等领域重大装备的发展需要，开发高性能变频调速设备、牵引用变频调速设备、特殊调速用变频调速设备、发电用变频调速设备等，突破标准化和模块化技术、高速通信母线和能量传输母线技术以及专用智能化接口技术、电磁兼容设计技术、整机检验和测试技术、优化载波控制技术，提升重点领域交流电动的传动和执行的自动化水平，提高运行稳定性。

5. 耐环境、耐腐蚀阀门

以耐高温、耐高压、耐低温、耐腐蚀、耐辐射、密封性强的阀门为发展重点，加强密封技术以及产品稳定性、可靠性与使用寿命等研究，积极开发超临界火电机组配套阀门、天然气长输管线配套阀门、核电装备所需核级阀门，推广在大型石油化工、天然气液化、火电等领域的应用。

13.4.3 智能制造主机与成套系统

围绕新一代信息技术、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械、农业机械装备等重点领域发展的迫切需要，推进以基础制造装备为代表的离散型制造装备和大型成套生产线为代表的流程制造装备的高端化发展，重点开发以下几类产品：

1. 高档数控机床与基础制造装备

重点针对航空航天装备、汽车、电子信息设备等重点产业发展的需要，开发高档数控机床、先进成形装备及成组工艺生产线。开发电子信息设备加工装备、航空航天装备大型结构件制造与装配装备、航空发动机制造关键装备、船舶及海洋工程装备关键制造装备、轨道交通装备关键零部件成套加工装备、汽车关键零部件加工成套装备及生产线、汽车四大工艺总成生产线、大容量电力装备制造装备以及工程及农业机械生产线。加强高档数控系统、高性能功能部件等核心功能部件研发与制造能力。

2. 工业机器人与专用机器人

针对工业以及特殊工况的需求，突破高精度驱动单元技术、控制技术、运动学与轨迹规划技术以及集成应用技术等关键技术，开发焊接、涂装、搬运、装配等工业机器人及安防、危险作业、救援等专用机器人，并在汽车焊接生产线、自动仓储传送分拣系统、高档数控机床和基础制造装备等领域实现推广应用。

3. 增材制造装备

针对航空航天、汽车、文化创意、生物医疗等领域的重大需求，突破一批增材制造专用材料，加速发展钛合金、高强合金钢、高强铝合金、高温合金、非金属工程材料与复合材料等高性能大型关键构件高效增材制造工艺、成套装备、核心器件及工程化关键技术，发展激光、电子束、离子束及其他能源驱动的主流工艺装备；攻克材料制备、打印头、智能软件等瓶颈，打造完善产业链。

4. 基础成套装备

开发清洁高效铸造成套设备、汽车自动化焊接生产线、涂装/装配柔性自动化生产线、智能化复合材料制备/成形/加工设备、物流与仓储自动化成套装备、智能化多晶硅熔炼与切割设备、冶金智能成套设备、智能化成形和加工成套设备等，推进在输变电设备、材料制备、汽车发动机加工、危险品制造、传感器仪器仪表及控制系统制造、航天器/飞机/船舶制造等领域的智能制造成套装备的系统集成和应用，建设高水平数字化车间，提升制造过程的智能化水平。

13.5 产业链布局

从产业链的角度，智能制造装备行业的上游可概括为原材料（钢铁、塑料等原材料）和配套系统供应商（数控系统、电子元件、机械零件等）。智能制造装

备行业的下游包括电子与通信设备、航空航天装备、轨道交通装备、电力装备、汽车、船舶、工程机械与农业机械等重点产业的配套装备。具体产业链布局如下：

13.5.1 高端数控机床产业链

高端数控机床的产业链上游主要为关键技术研发与标准制定，现主要依托重点高校实验室和专业机床研究所开展。中游主要为制造整机所需要的关键零部件和功能部件，包括数控系统及电柜、伺服电机、液压系统、检测元件、气动件、刀具、铸锻件和机床的轴承、丝杠、导轨等。下游为整机制造，依据应用范围的不同，主要包括 CNC 加工中心、特种加工机床、重型/超重型数控机床、仪表机床等。机床产品需要的物料规格品种繁多，产品的生产制造，从原材料、配套件的采购到零部件的加工、制造以及委托加工制造及上下游企业，构成了完整而冗长的产业链，产业的协调运转对社会化生产分工协作要求程度高。目前，我国机床行业千余家企业在国内的产业布局趋同，规模效益难以释放，应认真梳理产业链条，进行供应链的计划协调与优化，形成少数企业从事成品生产，大多数企业从事中间产品、零配件产品生产的产业链条结构。

13.5.2 工业机器人产业链

机器人产业的上游企业（减速器、控制器、伺服电机、编码器、末端执行器等核心零部件的生产加工企业）、中间环节（单元产品供应商、系统集成商）、下游应用（汽车及零部件行业、电子电气行业、机械加工行业、食品和药品行业、机床行业等），分别由不同的市场主体承担。实现关键基础部件的国产化是完善我国工业机器人产业链体系的重中之重，应建设重点实验室、国家工程中心、工程实验室，通过产学研合作，奠定关键基础部件发展的雄厚基础。支持专业化生产企业，支持它们与机器人本体企业建立长期紧密合作的商业模式，实现机器人产业健康有序发展。提升产业链核心环节，调动整条产业链协调运行，促进产业整体环节增值。同时，挖掘当地传统领域的需求，拓展下游产业应用，提升工业机器人系统集成能力，合理适配行业需求，进一步加强产业生命力。

13.5.3 增材制造产业链

增材制造的成型原理和工艺流程体现了与传统减材制造方式的本质差别，使得增材制造产业链更为精简，打印材料和打印设备是整个产业链中最为重要的环节，基于这两项衍生出的方案提供商和平台商也是产业链中的重要组成部分。增材制造产业的发展是设备制造商、材料提供商、服务商、平台商等多方互动的过

程，而每个环节又有很多细分。在设备制造商层面，有工业级和民用消费级的划分；以及基于不同技术路径的划分；材料方面，针对不同的应用场合做划分；服务商方面，包含工业设计、3D 建模、3D 扫描等；平台商方面，包含电子商务、第三方支付、知识产权保护等。加强材料、工艺、设备和标准等关键环节中的核心技术瓶颈的产业布局，实现技术上的快速发展，达到国际先进水平。同时，通过需求牵引与创新驱动相结合，政府引导与市场拉动相结合，重点突破和统筹推进相结合，增材制造技术和传统制造技术相结合的方式，推进我国增材制造产业健康有序发展。

13.5.4 工业大数据产业链

工业大数据产业链主要包括数据采集、存储、处理和应用等主要环节。基于工业大数据产业链，催生了数据自营模式、数据租售模式、数据平台模式、数据仓库模式和数据外包模式的新型商业模式。目前，我国在大数据产业链高端环节缺少成熟的产品和服务。面向海量数据的存储和计算服务较多，而前端环节数据采集和预处理，后端环节数据挖掘分析和可视化及大数据整体解决方案等产品和服务匮乏。应聚合厂商、用户、投资机构、院校与研究机构、政府部门的力量，通过研讨交流、数据共享、联合开发、推广应用等工作，实现数据开发共享，形成相关技术与产业的突破性创新，培育成熟的产业联盟和产业聚集区。以基础设施层、系统平台层、云应用平台层、增值服务层、配套端产品层五个产业链层级，构建完善、健康、有序的数据交易产业链条。

13.5.5 工业信息安全产业链

工业信息安全产业链涵盖工业控制技术研究、信息安全技术研究、工业信息安全产品研发与生产，以及工业信息安全服务等环节，包括工业信息安全技术、产品或服务的应用主体、提供商、制造商或集成商等组成部分。工业信息安全产业链将信息安全的技术、服务、制造以及物流产业进行有序组合，是信息产业链的重要组成部分，是保障国家和企业信息安全的战略性核心产业链条。应营造工业信息安全产业生态环境，搭建面向工业应用的信息安全服务网络和服务平台，建立工业信息安全产业联盟。以现有工业信息安全相关产业和运营商为基础，通过政府搭台、政策支撑、资金投入、企业参与、人才培养和聚集，建立产学研用一体的产业集群，联合政府、企业、院校、科研机构力量，形成完善的工业信息安全产业链。

13.5.6 虚拟现实与增强现实产业链

虚拟现实（VR）、增强现实（AR）涵盖硬件、系统、芯片、工具等产业链各个环节。目前已形成三大投资主线：一是以头戴式显示器为代表的VR、AR硬件设备，二是以游戏、电影为主的娱乐内容，三是包括远程医疗、辅助教学等全新应用在内的跨界服务。据风投公司CB Insight统计，2014年全球虚拟现实（VR）、增强现实（AR）公司风险融资达7.75亿美元，比前年增长了一倍多。2015年上半年，虚拟现实与增强现实产业融资额已高达2.48亿美元。随着硬件技术的日益成熟以及内容资源的日趋丰富，中金公司的研究报告称，2020年，整个虚拟现实与增强现实产业的市场规模有望超过300亿美元。我国虚拟现实与增强现实在企业级市场已经广泛应用，其中在军事训练中的应用已较为成熟。此外，也已在建筑、教育、设计、医疗和展览等领域有一定程度的应用。应逐步完善行业标准，提高行业准入门槛，支持有核心竞争力的虚拟现实与增强现实企业的发展；同时，拓宽下游应用行业，除了现有的游戏、影视外，促进在工业、医疗、教育、旅游观光等更多行业的应用。

13.6 发展模式与发展理念

在国际金融危机冲击和影响下，我国工业发展中积累的深层次矛盾更为凸显，同时，资源和环境约束不断增大，劳动力等生产要素成本不断上升，投资和出口增速减缓，以往以依靠资源要素投入、规模扩张的粗放发展模式难以为继，调整结构、转型升级、提质增效刻不容缓。按照国家统一部署，工业和信息化部编制了“十二五”工业转型升级规划，强调工业发展要坚持以科学发展为主题，以加快转变工业发展方式为主线，加快工业转型升级。《中国制造2025》的发布确定了以体现信息技术与制造技术深度融合的数字化、网络化、智能化制造为主线，由要素驱动向创新驱动转变；由低成本竞争优势向质量效益竞争优势转变；由资源消耗大、污染物排放多的粗放制造向绿色制造转变。由生产型制造向服务型制造转变。促进形成结构优化、布局合理、技术先进、清洁安全、产业链完善、吸纳就业能力强的现代产业体系。这对装备制造业发展提出了新要求。

第一，要加快产业结构优化升级，着力提升发展质量和效益。在保持行业平稳较快增长的同时，推动行业发展模式从数量扩张型向质量效益型转变。加强企业技术改造，提高先进产能比重，培育壮大高端装备制造及节能与新能源汽车等战略性新兴产业，加快发展服务型制造业，推动建设现代产业体系。以提高产品

附加值为突破口，优化产品结构，引导企业经营模式从简单的批量生产向多品种、个性化生产方式转变，从生产主导型向消费主导型定制生产方式转变。

第二，要高度重视人才培养，切实提高自主创新能力。要增强人才培养的前瞻性和计划性，加大资金投入和政策支持，培养一批学术领军人才。高度重视技术进步，不断完善以市场为导向、以企业为主体、以产业化为主攻方向的技术创新体系，支持企业增强技术创新能力，突破关键核心及共性技术，积极推动首台（套）产品的应用推广。

第三，推进信息化与工业化深度融合，着力提高管理水平和产品质量。充分发挥信息化在装备制造业转型升级中的牵引作用，推动信息技术在研发设计、生产过程、营销管理、物流配送、节能减排、安全生产、跨区域协同等领域的深度应用，加快精益生产、敏捷制造、虚拟制造等在装备制造企业的普及推广，推动制造模式向智能化、自动化转变。

第四，提升质量和服务意识，提高品牌创新能力。以开发品种、提升质量、创建品牌、改善服务、提高效益为重点，大力实施质量和品牌振兴战略，确保产品质量安全，引领和创造市场需求，不断提高产品竞争力。加强工艺研究和应用试验，着重提升试验检测条件和培育向用户提供解决方案的能力，注重单元技术的完善和应用，实现集成创新。

2015 年 11 月以来，“供给侧改革”成为高层讲话中的高频词。国家主席习近平在中央财经领导小组第 11 次会议、第 12 次会议和亚太经合组织 APEC 工商领导人峰会上三次强调，要“加强供给侧结构性改革”。国务院总理李克强在“十三五”规划纲要编制工作会议上称，“要在供给侧和需求侧两端发力促进产业迈向中高端”。国家部委领导人也均在不同场合强调“加强供给侧结构性改革”。所谓“供给侧改革”是指从提高供给质量出发，用改革的办法推进结构调整，优化要素供给，改善营商环境，解决经济增长周期中的结构性问题。传统行业的低端产能过剩，而部分高精尖产品需求得不到满足，结构性的产能过剩迫切需要通过“供给侧改革”的方式提高供给体系质量和效率，提升全要素生产率，加快新动能成长和传统动能提升。伴随《中国制造 2025》战略的发布，制造企业纷纷转型升级，以自动化、信息化和智能化为导向的智能制造是“供给侧改革”的先头军。面对当前制造产业问题，供给侧改革未来的任务纷繁复杂。在近期召开的中央经济工作会议中提出了“去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板”五大任务。随着供给侧改革的逐步深入，整个工业体系的生产成本、低端产

业比重、制造业比重将下降，创新能力、高端产品比重、服务业比重将得到提升，整个营商环境将会有明显的变化。面对经济新常态和供给侧改革，工业企业要主动调整未来发展战略，以高端化、智能化、服务化、绿色化为发展方向和要求，促进产业迈向中高端。

据统计，全球寿命超过 200 年的企业，日本有 3 146 家，为全球最多，德国有 837 家，荷兰有 222 家，法国有 196 家，中国仅占 9 家。美国《财富》杂志报道，美国中小企业平均寿命不到 7 年，大企业平均寿命不足 40 年。而中国，中小企业的平均寿命仅 2.5 年，集团企业的平均寿命仅 7 ~ 8 年。美国每年倒闭的企业约 10 万家，而中国有 100 万家，是美国的 10 倍。质量是企业的生命，我国部分企业过度追求“投资少、周期短、见效快”带来的短期利益，而忽略了产品的品质和质量，造成企业生命周期短，难以做强做大。近年来，大量国人海外购物的现象也反映出对高质量商品的认同感。提及优质制造，人们的第一反应往往是瑞士、德国、日本等国家的制造业，以及这些国家内精益求精、追求卓越的“工匠”。美国畅销书作家亚力克 · 福奇在《工匠精神》一书中提到，“古往今来，‘工匠精神’一直都在改变着世界，热衷于技术与发明创造的‘工匠精神’，是每个国家活力的源泉。”工匠精神是对自身产品精雕细琢，精益求精，注重细节，追求极致的精神。中国并不是一个缺乏工匠的国家，冶炼、铸剑等技术早在战国时期就创造了辉煌，四大发明对世界文明的发展起了巨大的推动作用，青铜器、陶器、茶叶、酿酒、布艺曾经样样精致。而如今，社会的浮躁使得我们的匠心不那么容易安定和安分。中国制造业的转型，最关键的就是脚踏实地，回归精益求精的“工匠精神”，从“合格制造”到“优质制造”。

第 14 章　可行性分析

14.1　资源分析

14.1.1　高素质人才资源

为实现《中国制造 2025》确定的制造强国战略目标，需要着力推动重点领域突破发展，聚焦新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械等十大重点领域，坚持把

人才作为建设制造强国的根本，建立健全科学合理的选人育才机制，加快培养急需的经营管理人才、理论研究人才、技术开发人才、高级技师，建设规模大、结构合理、素质优良的制造业人才队伍，走人才引领发展的道路。目前我国培养体系完整，各类人才基本具备，但重点领域高技能人才不足、复合型创新人才紧缺。面对全球制造业格局重塑，各国抢占新一轮产业竞争制高点的关键节点，人才资源战略价值愈加突显，同时也面临着前所未有的严峻挑战。

1. 建设一支结构合理、素质优良的人才队伍

与促进制造业十大产业发展紧密结合，加快培养急需的经营管理人才、理论研究人才、技术开发人才、高级技师，建设一支结构合理、素质优良的人才队伍。根据中国教育科学研究院初步测算，除信息技术人才供过于求外，高档数控机床和机器人（年度最大缺口 20 万人左右）、生物医药（年度缺口 5 万人左右）、农机装备（年度缺口 3 万人左右）、节能与新能源汽车（年度缺口 2.5 万人左右）四个领域人才属于供不应求阶段；新材料、电力装备、海洋工程、先进轨道交通、航空航天领域人才供需基本平衡。十大重点领域年度人才总缺口粗略估计在 50 万人左右。预计到 2025 年，我国制造业人才总体规模如能按期弥补供需缺口，将继续保持世界第一，基本满足十大重点领域人才需求。

2. 完善多层次多结构人才培养体系

以保持规模、健全结构，政府主导、市场调节，学科互补、突出应用，关注急需、重视前沿，教学创新、强化实践为基本思路，不断提高质量、突出效益。调整和改革学科、专业规模与布局，使得学术型人才和应用型人才结构逐步合理，建立健全各级各类教育机构、科研机构与制造企业共同参与、相互支持的立体化培养结构。不断完善院校、科研机构、行业企业和军工系统参与的多层次、多结构制造业人才培养体系，建成覆盖基础教育、职业教育、高等教育、研究生教育的更为完整的多层次制造业人才培养体系，健全从研发、转化、生产到管理的多类型人才培养体系。

14.1.2 智能制造装备产业发展的现有基础

1. 基础研究理论及重点产品取得突破

我国智能制造方面已经取得了一大批相关的基础研究成果，掌握了长期制约我国产业发展的部分智能制造技术，如机器人技术、感知技术、工业通信网络技术、控制技术、可靠性技术、机械制造工艺技术、数控技术与数字化制造、复杂

制造系统、智能信息处理技术等。关键智能测控部件在传感器、仪器仪表、自动控制系统、工业机器人等方面取得突破性进展，部分核心智能测控部件已进入产业化阶段，在包装和食品机械、工程机械、农用机械、环保机械等领域实现了推广和运用。在石油石化、机械加工、食品制造、纺织机械等领域的重大智能制造成套设备取得标志性成果。

2. 产业规模初步形成

2012 年，我国智能制造装备产业主营业务收入 11 052.9 亿元，年均增长率为 30.6%。其中，核心智能测控装置与部件主营业务收入 2 871.8 亿元，年均增长率为 24.3%；重大智能制造成套装备主营业务收入 5 296.9 亿元，年均增长率为 25.8%；示范应用领域主营业务收入 2 884.2 亿元，年均增长率为 48.5%。我国智能制造装备产业已提前完成“至 2015 年，产业销售收入超过 10 000 亿元”的《智能制造装备产业“十二五”发展规划》目标。以新型传感器、智能控制系统、数控机床、工业机器人和自动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成；规模以上工业企业在研发设计方面，应用数字化工具普及率已经达到 54%，生产线上数控装备比重已经达到 30%。

3. 基础研究人员队伍及组织逐步壮大

通过国家相关科技计划和科技重大专项的支持，在高档数控机床与基础制造装备、流程工业和发电设备所用自动化控制系统、工业机器人等领域形成了较好的基础，一支从事智能制造系统和装备研究的人才队伍逐步壮大。在装备制造业相关领域建成了一批国家工程（技术）研究中心、国家重点实验室、国家认定的企业技术中心、产业联盟，为智能制造装备的研发和产业化提供了坚实的基础条件。

4. 形成了一批具有国际竞争力的龙头企业

近年来，民营经济发展迅猛，智能制造装备产业呈现资本体系多元化。沈阳机床和大连机床两个集团的年销售收入均超过百亿，进入世界机床产业前 10 强。此外，智能制造装备行业还涌现出重庆川仪、京仪集团、浙江中控、和利时、新松机器人、三一重工、中联重科、瓦轴集团和沈鼓集团等一批具有国际竞争力的龙头企业，以及聚光科技、天瑞仪器和威尔泰等各具特色的智能制造装备企业。

14.1.3 资金来源与体制

1. 国家金融、财政、税收等优惠政策向新兴产业倾斜

（1）金融政策　完善金融机构的信贷服务，增加对智能制造业重点领域的信贷投放，在信贷政策上予以倾斜。特别是对于暂时出现经营和资金周转困难，但基本面和前景较好的企业应给予信贷支持。通过为企业提供银团贷款、拓展担保方式、增强贷款利率下调弹性等多种方式给予政策扶持。落实国务院提出的加大对企业兼并重组的信贷支持，银行金融机构应优化信贷结构、加强定向调控，发挥政策性金融、开发性金融、商业金融的互补优势，提高信贷支持的针对性和有效性。研究建立支持战略性新兴产业发展的长期低息贷款机制，提高中长期贷款比重。

要发挥资本市场的作用，通过资本市场直接融资以减轻企业负担。健全多层次资本市场，大力发展股票及债券等资本市场，搭建方便快捷的融资平台，支持符合条件的制造业企业上市融资、发行债券。支持符合条件的制造业企业通过银行间债券市场发行非金融企业债券融资，拓宽企业融资渠道。具体而言，一是企业上市进行直接融资。鼓励企业通过主板、创业板、中小企业板上市，乃至在境外上市。二是通过发行企业债、公司债、可转换公司债、短期融资券等来募集产业整合需要的资金。对企业债、短期融资券、中期票据用于企业兼并重组不作出限制。

发挥产融结合、融资租赁、保险等金融服务在促进制造业转型升级中的重要作用。允许企业设备作为贷款抵押物，并建议抵押贷款比例由50%提高至70%。支持重点领域大型制造业企业集团开展产融结合试点，支持企业做大做强。发挥融资租赁的融资、促销、投资等多种功能，支持制造业企业发展。推广大型制造设备、施工设备、运输工具、生产线等融资租赁服务，支持中小微企业发展。引导企业利用融资租赁方式，进行设备更新和技术改造。

（2）财税政策

1）财政支出政策。智能装备制造是提高中国制造业核心竞争力的关键要素，是其他高端制造业快速发展的基石，对推动制造业产业结构调整和升级有重要作用。“十二五”期间，国家持续加大对智能装备研发的财政支持力度，主要包括一般预算支出政策、专项资金政策、财政补贴政策、财政贴息政策和财政担保政策等。其中，一般预算支出政策是指增加除国债外的预算投入，直接用于支持战略性智能制造装备产业发展。专项资金政策是指政府通过政府资源和资金渠道，

设立战略性智能制造装备产业发展专项资金，推动建立稳定的财政投入增长机制，以此为杠杆，着力支持重大关键技术研发、重大产业创新发展工程、重大创新成果产业化、重大应用示范工程、创新能力建设等。财政补贴是一种影响相对价格结构，从而可以改变资源配置结构、供给结构和需求结构的政府无偿支出。政府贴息是政府为支持特定领域或区域发展，根据国家宏观经济形势和政策目标，对承贷企业的银行贷款利息给予的补贴。财政担保是以使用风险投资的原理支持政府倡导的领域加快发展，而促进战略性智能制造装备产业发展恰恰是政府扶持的重点领域。可以根据不同行业、不同领域、不同发展阶段，灵活选取合适的财政支持政策手段，以切实提高财政支持政策的针对性和有效性。

设立智能制造装备创新发展专项资金，引导地方和企业加大对智能制造装备的研发投入力度，国家相关科技计划加大对装备智能化技术的研发投入力度。加快实施“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项，加强对高档数控系统、伺服驱动装置、机床自诊断等技术与装置的研发投入力度，提高主机的智能化水平，推进系统集成和成套，开发一批智能化成形和加工成套设备。重点支持智能技术、智能测控装置与部件、重大智能制造成套装备的研发、产业化和应用推广。引导地方、企业和社会资本加大对智能制造装备产业的研发和产业化资金投入。以“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项为例，该专项从 2009 年启动，三次共支持 268 项课题，总经费 91. 5 亿元。随着智能装备战略地位的提升，“十二五”期间国家将持续加大该项重大专项的投入，每年重大专项将带动机床行业增加研发投入 100 亿元以上，中央财政投入将大幅增加至 30 亿元。

2）税收优惠政策。调整落实重大技术装备进口税收政策，对生产国家支持发展的重大技术装备和产品，确有必要进口的关键部件及原材料，免征关税和进口环节增值税。积极利用增值税转型政策，加快制造装备更新，完善出口退税政策。鼓励金融机构以保单贷款、出口订单抵押贷款等多种方式，支持高端智能制造装备制造企业融资，以贷款、投资、租赁等方式支持高端智能制造装备制造业的规模化发展。

建立支持智能制造装备制造业发展的多渠道、多元化的投融资机制，鼓励金融机构创新金融产品品种，支持智能制造装备制造企业融资、规模化发展；发挥现有装备制造业基金的作用，支持装备制造企业转型升级，发展高端装备；鼓励支持符合条件的智能制造装备制造企业上市，引导创业投资和股权投资向智能制造领域倾斜；鼓励金融租赁公司开展智能制造装备的融资租赁业务。

2. 支持民间企业和资本投向新兴产业

（1）创新政府与民间的资金合作方式，引导社会资金投入战略创新新兴产业　战略性新兴产业的发展需要注入大量资金，为了解决这一进程中的资金需求，应该在改革金融和投资体制的同时，充分动员一切社会资源投入到战略性新兴产业的发展，这不仅包括来自政府的资金支持，更重要的是要引导好民间资金。这就需要在实际工作中创新政府与民间的资金合作方式，多渠道广泛吸引社会资金主动投入战略性新兴产业。

1）以产业基金的形式筹集社会资金投入战略性新兴企业。由于战略性新兴产品具有高投入和高风险的特征，以商业银行为代表的商业性金融机构很难给予信贷支持，国际上的经验也是通过建立各类创业投资基金和天使投资基金，筹集社会闲散资金，帮助处于初创期和成长期的创新型企业获得资金支持。创业投资发展的初期，政府的参与至关重要。20 世纪 90 年代初，为了促进高新技术企业的发展，由各省市政府主导的国有创业投资基金纷纷成立，经过十多年的发展，我国的创业投资基金已经达到一定规模，已经为高新技术企业提供了大量资金支持。

下一步，各地政府要积极进行引导，鼓励民间资本和外资加入产业基金行业，强力推动创业投资基金、产业投资基金、股权投资基金以及风险投资基金等的发展，从不同侧面、不同领域加强对战略性新兴产业的投资力度。同时，政府要采取多种方式更好地发挥财政资金的引导作用。比如，政府可以出面建立战略性新兴产业创业风险投资引导基金，采取发起设立创业投资基金、产业投资基金或者直接对类似产品基金注资等方式，发挥财政投入“四两拨千斤”的作用，迅速增加不同层次的创业投资基金和产业投资基金的数量和规模，提高民间资本参与或者设立产业基金和创业投资基金的积极性，吸引大量民间资本投入到产业基金行业，快速壮大创业投资基金和相关产品投资基金的资金规模与实力，从而为战略性新兴产品的发展带来大量社会资金投入。

2）大力发展中小企业信用担保机构。战略性新兴产业的许多核心企业在设立初期或者处于发展的初级阶段属于中小企业范畴。一般而言，由于中小企业平均生命周期短、经营不稳定、倒闭率高，加之中小企业规模偏小，缺乏抵押资产等信用担保手段，尤其是那些科技型中小企业，由于固定资产不足等原因，总体信用水平较低，很难满足商业银行贷款的要求，需要通过特定的制度安排，提高这些中小企业的资信水平。

目前在支持中小企业信用担保机构发展方面，还有许多工作需要加快推进。首先，需要对现有的中小企业信用担保机构和业务进行整合，形成一批有实力的信用担保企业，成为向战略性新兴企业的相关企业提供信用担保业务的主力军，提高企业的资信水平，使企业能够以比较优惠的利率获得商业银行贷款。其次，要加强财政资金对信用担保机构的支持，根据信用担保机构的特点，逐渐形成财政资金对中小企业信用担保机构风险准备金的支持机制和对风险代偿损失的部分支持机制，以较低的财政投入形成更大的信用支持能力。最后，要加强政策性中小企业信用担保机构的功能，强化政策性资金运用效果及目标考核机制，使政策性中小企业信用担保机构主要从事的担保业务集中在与战略性新兴产业发展相关的产业领域，通过信用担保企业的担保，使战略性新兴产业核心企业以较为优惠的利率获得商业性资金支持。

（2）创新政府对高新技术开发的支持方式，引导民间资金从事科技开发。一是加强对国家重点实验室、工程中心、工程实验室、企业技术中心的直接资金扶持，加大相关基础技术研究的资金投入力度，完善对相关机构的税收优惠政策；二是从直接对战略性新兴产业核心企业的支持转向支持行业组织、技术联盟和产学研合作组织等机构，减少其他国家以反补贴为借口对相关企业甚至行业设置贸易壁垒；三是加强对战略性新兴产业相关企业的认定，不能要求企业在资格认定时就已经拥有自主知识产权，而应该将那些正在处于研发投入阶段尚未形成自主知识产权的从事战略性新兴产业的相关企业纳入支持名单；四是落实对科技研发支出加倍扣除纳税额以及高新技术企业无形资产摊销的一次性全额抵扣等税收措施，引导企业增加技术开发投入；五是鼓励科技人员以知识产权、专利技术等无形资产，经评估、作价以产权形式入股，参与企业的利润分享。

3. 发展多层次资本市场

资本市场是现代金融体系的重要组成部分，资本市场的发育程度是衡量区域经济发展水平和市场化程度的重要标志。建立多层次资本市场，是促进宏观经济持续、稳定和健康发展，支持实体经济发展壮大的重要保证。积极推动优质企业上市挂牌，通过股票市场、债券市场等融资渠道，改善企业融资结构和资本结构。

（1）完善主板市场　增加主板市场的层次划分，并适当改革部分主板市场的交易机制，促进主板市场交易及流动性。对主板市场资源进行整合，突出主板市场功能优势，完善市场监管职能，鼓励上市公司推行规范化、市场化运作机

制，努力建设在亚洲具有较大影响的资本市场。

（2）健全中小企业板与创业板市场　考虑中小企业特点，不断完善新股发行机制、再融资和退市机制，完善治理机制，增强市场透明度。通过借鉴海外创业板的相关规则设计，放宽创业板上市门槛，创新交易机制。

（3）积极发展场外交易市场　场外市场作为主板市场、二板市场的重要补充，在资本市场的整体构成体系中起着极其重要的作用。研究和建立统一监管下的场外交易市场，实现地区性联网运行，规范场外市场的挂牌条件以及升板制度，制定相应的行政法规，规范场外市场的交易行为。

（4）建立健全各层次资本市场转板机制　建立健全我国多层次资本市场的转板机制，打破各层次资本市场封闭、低效的运行状态，充分利用资本市场有效配置资源，最大限度发挥虚拟经济推动实体经济发展的作用，通过转板机制提升多层次资本市场配置资源的联动效应，维持多层次资本市场的生态平衡。转板机制应依据各层次资本市场的特点，遵循“双向联动、升降有别”的原则，利用主板市场带动新三板的发展，进而提升场外交易市场的热度。

（5）完善技术产权交易市场　技术产权交易属于权益性的、非标准化的资本市场。交易机构需要重新架构其核心业务，增加金融、投资与互联网等因素，建立统一的产、股权报价交易服务平台、金融化综合服务平台、产权 + 移动互联网服务入口，强化细分交易与综合服务，适时启动行业内并购重组，及时推动与金融机构和互联网平台的合资合作。

14.2　市场需求分析

14.2.1　国外市场前景分析

目前，全球制造业信息化投资重点是信息技术在制造领域广泛应用，信息技术与传统产品的融合，制造装备信息化和机电一体化。各国高度重视运用信息技术改造传统产业，加快制造业结构调整和产业升级。发达国家普遍寄希望于通过高度信息化保持领先地位，新兴工业化国家希望通过加快制造信息化跻身世界先进行列。跨国公司正在积极利用网络，实施制造业技术研发、产品设计、生产管理、市场营销和售后服务的信息化和全球化，不断提高产业和企业的国际竞争力。

美国致力于发展以“再工业化”为主导的新兴产业，美国政府制定出台了相关政策、法律和计划等，通过法律强制、财政支持、税收等多种措施，创造适

于装备制造产业发展的良好环境。欧盟将低碳产业列为新兴产业的重点，《欧盟能源技术战略计划》鼓励推广包括风能、太阳能和生物能源技术在内的低碳能源技术，以促进欧盟未来建立能源可持续利用机制。韩国政府将低碳和绿色发展作为重要主题，综合推进新兴产业发展，《新增长动力规划与发展战略》将绿色技术、尖端产业融合、高附加值服务等三大领域共 17 项新兴产业确定为新增长动力，规划在 2010 年中期通过政府研究与开发资金，向 26 个商业项目共投资 1550 亿韩元，以支持促进经济发展的新兴产业；韩国大型企业和中小企业共同在生物制药、机器人技术、脱盐设备、发光二极管、新型半导体、绿色轿车等领域获得政府研究与开发资金支持。

高端装备产业快速发展，特别是与能源、新兴产业相结合的装备产业与技术，成为众多企业的投资热点。传统装备制造强国与新兴市场国家都在制定其规划与政策，支持高端装备产业的技术研发和商业化发展。

航空工业全球化趋势进一步加强，国际合作与转包生产不断深化。众多欧美航空制造商、一二级系统和构件供应商进行剥离与并购，推动航空供应链结构进一步调整与优化。各国政府积极支持民用航空业，法国、德国、英国和西班牙采取“启动援助”特许权投资形式，支持新的民用飞机项目筹措资金；美国政府通过财政支持国防部、国家航空航天局研发项目，向大型飞机厂商提供间接补贴，并针对航空产业出台诸多税收豁免、延期纳税、优惠等政策。航空关键部件研发和制造技术进一步发展。分布式、埋入式多风扇发动机尚处于基础性研究阶段，齿轮传动涡扇发动机研发不断推进，开式转子发动机研发获得多项计划支持；机载设备呈现信息化、安全性和智能化综合集成趋势；复合材料成为新型民用机材料竞争重点；航空维修市场巨大商机成为制造商关注焦点，引发众多企业项目启动和竞争。

全球海洋工程装备市场缓慢复苏，深水战略海工装备在海洋油气勘探的推动下快速发展，深海油气资源开发平台技术、海底管线检测与维修关键技术、潜水器与深海空间站技术、海上施工技术、水面平台配套设备技术等成为海洋工程领域研发热点。巴西、俄罗斯等资源大国积极培育本土海洋工程装备制造企业，众多大型造船企业转型进入海洋工程装备市场投资。跨国公司进行“跨国联盟 + 技术优势”战略联盟，英国壳牌、法国 Technip、法国 Doris、日本千代田、日本日挥、韩国三星、韩国大宇、韩国现代重工和中国海油工程等分别组成联盟合作，抵御市场激烈竞争。整个海洋工程装备建设格局逐渐变化：欧美企业垄断海洋工

程装备高端制造和设计技术，掌握众多关键技术与专利。

世界数控机床工业受金融危机影响，产销严重下滑，出口贸易也大幅下降。欧盟地区机床工业继续保持世界领先地位，欧洲机床工业合作委员会从增加研发投入促进产业技术升级、鼓励和支持中小企业参与研发项目、保持欧洲制造基地的综合优势、消除非关税壁垒、建立国际化标准、重视新兴市场消费需求等方面，提出欧盟机床新的产业发展政策。世界数控机床发展趋势是大力发展以数字化、柔性化及系统集成技术为核心的智能型数控制造装备。其中，数控加工中心成为数控机床行业热点，世界各大机床厂商纷纷展示加工中心产品与技术。加工中心制造技术不断向高速、高精、复合化和环保化方向发展。各类加工中心品种、性能和功能不断增强，五轴联动数控机床成为热点产品，工业机器人在机床上进行应用趋势加强。市场需求日益增多，应用领域不断扩大。主机设计制造技术在微电子与计算机技术的推动下迅速提高，各种配套功能部件和数控系统也迅速发展。

全球经济仍处于危机后的修复期，市场需求不足，全球进口需求增长乏力。2012—2013 年全球贸易量增速连续两年低于经济增速，2014 年贸易量增速也仅比 GDP 增速快 0.8 个百分点，与国际金融危机前 5 年贸易量快于 GDP 增速 1 倍形成强烈反差。另一方面，在内需不振的情况下，各国均致力扩大出口，竞争性货币贬值的诱惑力增大，国际竞争趋于激烈。同时，全球贸易保护主义抬头，区域贸易自由化有取代全球贸易自由化之势。由于国际经济复苏道路依然曲折，国际市场需求总体仍然偏弱，各国产业间竞争日益激烈，贸易摩擦形势依然严峻，我国机械工业产品出口面临的困难和风险依然较多。在出口竞争加剧的形势下，工业向高技术含量、高附加值产品方向发展显得迫在眉睫。

14.2.2 国内市场前景分析

制造业是我国国民经济的重要支柱，是国防安全的重要保障，是促进社会发展的重要力量，也是我国经济持续发展、全面建设小康社会和构建和谐社会的重要支撑。改革开放以来，我国先进制造技术和高端制造装备制造业得到了飞速发展，通过各类科技计划并依托国家重大工程，突破了一批长期受制于国外、长期依赖进口的高端装备和智能装备，如大型自动化控制系统、精密加工中心等，同时，一批行业龙头企业得到发展壮大，有些企业逐步成为国际知名企业。然而，目前国内机械工业传统产业产能过剩问题依然突出。一是通用型的低端装备严重供过于求，中高端装备的研发、制造能力尚未得到显著提高，供给能力严重不

足，包括国内市场在内的大量高端装备订单被国外厂商垄断。二是产品同质化生产现象严重，不适应下游行业转型升级的市场需求。近年依靠投资高速增长的工程机械、输变电设备、风电设备、机床等行业，随着装备工业用户需求加速升级，凭借价格战进行竞争难以满足用户对产品精准化、绿色化、智能化的要求，以及对企业提供整体解决方案能力的要求。2014 年，我国中低端机床、风电设备、工程机械及船舶等产业结构性产能过剩的局面依然存在，产业结构调整的压力将进一步加大。同时，我国经济增速放缓，2014 年我国国内生产总值同比增长 7.4%，增速较 2013 年继续回落，需要发展新的增长极。

为解决这一发展困境，我国需促进产业结构的多样性，在发展高端技术的同时，利用先进制造技术和智能制造技术改造和提升传统产业，特别是纺织、机械、化工等劳动密集型行业，大力推广智能化技术和装备，为持续创造就业岗位提供有效工具。同时，航空航天、高速铁路、新能源等新兴产业发展急需大量高端智能制造装备，工程机械、冶金、石化、轨道交通等传统产业的转型升级和发展需要大量新兴传感技术、仪器仪表和控制系统。战略性新兴产业的进一步发展壮大对智能制造装备提出了迫切需求。智能制造不仅为推动战略性新兴产业发展提供了必要保障，而且其本身也正在孕育成为未来的战略性新兴产业。

智能制造技术是未来先进制造技术发展的必然趋势，是抢占产业发展的制高点，是实现我国从制造大国向制造强国转变的重要保障。发达国家为扩大市场和技术优势，不断加大对前沿技术研发的投入，推出高端智能化产品。为进一步缩小与国外的差距，实现制造强国目标，须夯实制造业技术基础，形成较为完备的制造业创新体系。其中，智能制造既是实现制造业结构调整的高端技术，同时也是支撑制造业上水平的基础性技术，发展智能制造将为制造业的全面发展提供有力推动和必要保障。

综上所述，我国制造业的规模大，但是总体水平还比较低，培养发展战略性新兴产业和传统制造业转型升级已成为制造业发展的两个重要任务。迫切需要推进信息化与工业化融合，通过智能制造技术的发展，提高我国制造业创新能力和附加值，实现节能减排目标，提升传统制造水平。通过智能制造技术，发展智能制造装备制造业，创造新的经济增长点，开辟新的就业形态，成为中国从制造大国向制造强国转变的重要途径和有力支撑。

14.3 风险分析

1. 宏观经济复苏缓慢，经济仍面临下行压力

全球经济仍处于缓慢复苏阶段，我国多数制造业是典型的周期性行业，市场需求不足仍困扰着制造业的发展。制造业是智能制造装备的上游，不可避免受到行业景气度的影响。我国制造业的持续低迷，也给智能制造装备厂商带来了较大的经营压力。

2. 财税、金融、人才等政策环境未完善

智能制造装备产业的培育和发展是个长期、持续的过程，产业发展初期投入高，风险也高，尤其需要政府强有力的支持。尽管各地积极研究制定鼓励智能装备产业发展的财税、金融和人才等优惠政策，并出台系列大工程和行动计划纲领，但总的来说，有利于产业发展的政策环境仍未形成。主要存在以下问题：一是现有政策落实不到位；二是现有财税政策不完善，针对智能装备产业的扶持力度不够；三是现有金融支持环境还不适应智能制造装备产业的发展要求；四是有利于人才培育、流动、人尽其才的制度体系有待进一步完善。

3. 市场竞争加剧

随着市场需求结构的变化，中国市场已成为国外发达国家争夺的市场。跨国公司的日益增多，在市场、人才、资源等方面给我国本土企业带来了极大挑战。高级人才、知识产权和国有资产的流失对我国民族装备企业的发展也构成了威胁。同时，美国、德国、日本等工业发达国家在数控机床、测控仪表和自动化设备、工业机器人等方面具有多年的技术积累，优势明显，特别是在高端装备方面尤为突出。在争夺市场的过程中具有明显的优势，给国内智能制造企业造成较大的压力。美国、英国等发达国家重新回归重视发展高技术的制造业，德国、日本竭力保持在智能制造装备领域的优势和垄断地位，韩国也力求跻身世界制造强国之列，这更加增大了我国企业投资智能制造装备产业的风险。

4. 投资过热的风险

智能制造是国家政策重点支持发展的产业，在当前市场不景气，需求结构转变的形势下，各地、各大企业正在加快投资智能制造装备产业。如机器人，各地机器人产业园区不断涌现。在这个过程中，重复建设，跟风投资的现象屡见不鲜，应该警惕部分领域由于投资过热引起下一步产能过剩的风险。

第 15 章　国际合作与竞争

在智能制造产业上，工业发达国家优势明显，国际竞争更加激烈。美国、德国、日本等工业发达国家在数控机床、基础制造装备、仪器仪表、工业机器人等方面具有多年的技术积累，特别是高端产品优势尤为突出。以工业机器人为例，目前在工业发达国家，工业机器人已得到广泛应用，成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）中最主要的自动化工具。一批在国际上较有影响力的知名机器人公司，如日本的安川、Fanuc、OTC、松下、不二越（NACHI）、川崎，德国的 KUKA、CLOOS，瑞典的 ABB，意大利的 COMAU 及奥地利的 IGM 公司等已经成为其所在地区和国家的支柱性企业。仪器仪表领域内，功能安全技术和安全仪表系统、无线传感器网络和无线仪表等前瞻性技术和高端产品，国外公司已经有产品投入市场，而国内企业因缺少技术储备，基础制造能力与技术创新能力与国外的差距较大，一旦这些新技术和新产品在市场上推广应用，将出现新一轮国外产品垄断市场的危险。因此，我国进入智能制造装备领域将面临激烈的国际市场竞争。同时，后金融危机时代，美国、英国等工业发达国家重新重视发展高技术的制造业，德国、日本竭力保持在智能装备及基础制造装备领域的优势和垄断地位，韩国也力求跻身世界制造强国之列，这更加挤压了我国智能制造装备产业的发展空间。我国必须积极参与国际合作与竞争，不断提升技术水平，加快产业化进程，在新一轮技术革命中抢占先机。

15.1　我国开展智能制造产业国际合作的必要性

智能制造产业是引导未来经济社会发展的重要力量。发展智能制造产业已成为世界主要国家抢占新一轮经济和科技发展制高点的重大战略。加快培育和发展智能制造产业对推进我国现代化建设具有重要战略意义。而开展智能制造产业国际合作则是加快这一产业发展的重要途径。

毫无疑问，发展智能制造产业必须立足于我国自身力量的基础之上，但同时我们也应该充分利用国外的各种资源（技术、资金和人才等），积极开展多种形式的国际合作，从而加快智能制造产业的发展。其主要理由如下：

1. 从产业内容上看

智能制造产业所涉及的内容均属于世界各国共同面对的重大经济和社会发展问题，而加快培育和发展智能制造产业能够有效缓解这些日趋严峻的资源、能源、环境和气候等全球性问题。以新能源汽车的研发为例，随着石油资源的日益枯竭，发展新能源电动汽车显得更为迫切。新能源电动汽车的研制在减少石油需求、降低温室气体排放和储存低谷电蓄热具有战略意义。智能制造产业有利于解决人类共同面临的可持续发展、全球气候变化等重大问题，需要全球的科学家和企业家共同努力来推进产业的稳步发展。

2. 技术特点

智能制造产业产生和发展多数基于科技革命突破和引发的产业革命，是科技革命和产业革命的必然结果。智能制造产业具有坚实的科学知识基础和新技术的支撑，产品集成了大量跨学科领域的技术成果，蕴含大量的技术突破。在智能制造产业中，各种尖端技术相互融合，相互交叉，朝着综合性方向发展。而单个企业很难拥有足够的技术力量去开发每一项高科技项目，因此需要通过跨国界的同行业合作来获得互补性技术。

3. 资金投入

实践表明，随着科学研究规模的不断扩大，维持现代研究体系的成本将不断增加，特别是大型科学项目，投资规模之大，已经不是一个国家所能承担的。如今，谋求资源共享和分担成本已经成为国际普遍流行的做法，已成为科学研究的一个惯例。科学研究资源的全球化已经成为衡量一项研究的学术水平的重要指标。在智能制造产业中，其科学技术发展十分复杂，新技术研制成本日益增大，而且蕴含着极大的风险。这样往往使得任何单个公司，即使是实力雄厚的大公司也难以负担，甚至几家大型跨国公司在技术创新方面联手时也显得捉襟见肘。从我国实际情况来看，发展智能制造产业需要巨大的资金投入，但是我国发展智能制造产业资金投入却严重不足，因此需要切实提高国际投融资合作的质量和水平，鼓励外商设立创业投资企业，引导外资投向智能制造产业。

4. 竞争理念

经济全球化的深入发展使企业面临着全球范围的激烈竞争，原有市场份额及垄断格局将不可避免地受到挑战。面临市场全球化竞争的强大压力，企业单纯依靠自身的力量显得势单力薄，因而被迫将目光转向企业外部，试图通过合作的方

式，增强自身竞争实力。麦肯锡高级咨询顾问乔尔·布利克（Joel Bleeke）和戴利·厄恩斯特（Dowid Ernst）认为：对于大多数的全球性公司来说，完全损人利己的竞争时代已经结束。因为这些跨国公司都逐渐明白，长期势均力敌争斗的结果将使各方财力、智力枯竭，难于应对下一轮的竞争和创新。在今天的国际竞争中，一个公司的竞争地位不再完全取决于公司内部所拥有的能力与资源，而是在更大程度上取决于世界范围内与其他公司及相关群体合作的深度与广度。只有走国际合作的道路，才能不断增强公司在全球竞争中的生存与发展能力。

综上所述，开展国际合作是加快培育发展智能制造产业的大势所趋。我国需在立足于自主创新的同时，多层次、多渠道、多方式积极推进国际科技合作与交流。

15.2 我国开展智能制造产业国际合作的现实基础

智能制造产业的国际合作从本质上讲是高端科学技术的合作，无论是国家还是企业，都需要具备较为坚实的科技基础和产业基础。目前我国发展智能制造产业已经具备了较好的基础条件。近年来，我国大力推进自主创新，智能制造产业部署早、发展快，在知识产权上已具有明显优势。但应该看到，近年来，发达国家跨国公司利用技术优势，从研发和市场两端牢牢控制着产业发展，我国智能制造产业发展仍然面临着巨大挑战，特别是我国智能制造产业的核心关键技术及知识产权不足。

1. 突破关键核心技术的艰巨任务

当前，世界上主要发达国家正加大核心关键技术的研究开发，以提高产品竞争力，抢占市场先机。在关键核心技术及部分产品方面，国外对我国实施严格的技术封锁和引进限制，利用技术优势打压本土产品。发展智能制造产业必须突破制约智能制造产业的关键核心技术，打破国外技术封锁。

2. 核心知识产权缺乏的困境

深入分析智能制造产业的知识产权可以发现，我国掌握的核心知识产权不足且分散，知识产权保护意识不高。如中国风电的发动机和叶片专利、大规模储电专利、电动汽车锂离子电池隔膜和混合发动机专利等，大多掌握在美、日、欧等发达国家手中。

3. 研发资金投入不足

我国在研发经费投入上不足，远低于发达国家，其中企业研发投入不足问题

较为突出，研发经费人均支出仅为美国的1.2%、日本的1.1%。大中型工业企业研发经费支出占其销售收入的比例，多年来一直不到1%，而主要发达国家已达2.5%到4%。研发投入不足直接造成了技术的缺失。

15.3 我国开展智能制造产业国际合作的主要模式

《国务院关于加快培育和发展智能制造产业的决定》对于开展智能制造产业国际合作所要达到的目标做出了明确的规定，即“通过深化国际合作，尽快掌握关键核心技术，提升我国自主发展能力与核心竞争力”。依据这一战略目标，结合国内外开展国际合作实践与我国的实际情况，我国智能制造产业国际合作模式可概括为三种，即：产业联盟模式、产业集群模式和产业创新模式。

1. 产业联盟模式：优势互补合作共赢

产业联盟是指出于确保合作各方的市场优势，寻求新的规模、标准、机能或定位，应对共同的竞争者或将业务推向新领域等目的，企业间结成的互相协作和资源整合的一种合作模式。产业联盟中最主要的类型是研发合作产业联盟，其目标是解决产业共性技术问题。研发联盟在企业创新中的具体作用是：有利于研发资源互补、缩短研发周期；有利于降低研发成本、分担研发风险；有利于联盟成员间相互学习国外先进技术等。从很多发展中国家的实践来看，工业后进国家同发达国家企业通过缔结联盟进行合作创新是缩小技术差距的一条捷径。如果正确地实施这一创新战略，就能加速技术进步与经济发展，甚至能在技术水平和创新能力上迅速赶上发达国家，并很快走上自主创新的道路。

通过产业联盟，能使企业进入需要巨额投资的技术领域，共同使用联合企业的创新资源和能力，在很大程度上解决我国企业经济效率低下、学习能力弱小的问题。特别是在变化莫测的外部国际环境中，与西方跨国公司在某些领域结成产业联盟，对于提高我国企业的国际竞争力，具有非常重要的现实意义。为此，应注意抓好以下三个环节：

（1）积累自身的竞争优势　现如今国际产业联盟是以经营能力及经营资源对等为特征的。实力相差十分悬殊的企业之间很难建立具有实质性的合作关系，产业联盟各个成员都应具有自己的特定优势，并且各优势之间具有一定的互补性，其内部成员之间的知识流动是一种水平式的双向或多向流动。我国企业在与国外企业的联盟合作中，应不断地积累自身的创新知识，在知识的双向流动中建立持久的联盟伙伴关系，通过相互合作创造新的知识。

（2）提升企业自身的核心能力　在知识经济时代，建立产业联盟的动机不能仅简单地追求资源互补，还应注重获取知识形态的核心能力。通过合作使企业间知识形态的资源进行双向及多向流动，以创造新价值。在建立国际产业联盟的过程中，应努力从国外合作企业获取新的知识，并使其与自身的核心能力相融合，实现战略合作的升华，提高企业国际竞争力。

（3）保护自身的合法权益　目前我国企业在与国外企业缔结联盟时，不善于在联盟组织的管理中保护自身的利益，在合作过程中不知不觉将自己的竞争优势拱手让人。如我国传统的景泰蓝制作工艺和陶瓷绘画技术在与他国合作中被窃取。我国企业在联盟合作过程中，应注重维护自身的合法权益，并强化商业机密和知识产权的保护意识。同时采取适当的保护措施维护自身权益，如拟订详细的含有保障条款的合约等。

2. 产业集群模式：互动发展嵌入升级

产业集群是在某一产业领域相互关联的企业及其支撑体系在一定区域内大量集聚发展，并形成具有持续竞争优势的经济群落。研究发现，产业集群是几乎任何产业成长过程中的一种普遍现象，在产业区域竞争优势的培养中具有不可替代的重要作用，而高新技术的产业集群特征更加明显。例如：美国的硅谷是世界上最成功的高技术产业开发区，是世界上最大的信息产业集群，全球前 100 家大科技公司有 20% 在此落户。英国的苏格兰科技区、法国的安蒂波利斯、印度的班加罗尔等地区的高新技术产业，都具有明显的产业集群特征。随着我国经济的发展，在东部沿海地区的长江三角洲地区、珠江三角洲地区和环渤海湾地带已经形成了三大集群经济区。

经济全球化的进程使集群区域的发展并不是一个孤立的过程，作为国际分工网络的有机组成部分，集群区域必然保持着与外界的联系，参与到全球化竞争当中。实践表明，集群区只有成为动态、开放的系统才能保持其长盛不衰的生命力。在产业集群与外界的联系更新过程中，外商直接投资（尤其是跨国公司）发挥了举足轻重的作用。

目前，跨国公司已经越来越多地试图进入东道国的产业集群，以增强其知识基础及国际扩张的效率。同时，跨国公司对东道国产业集群的有效介入能使集群企业不断获得跨国公司的技术支持，从而为集群企业的升级打下技术基础。产生这一现象的原因在于：跨国公司为保持其产品质量和竞争能力，通常会为供应商提供技术援助、信息咨询服务和管理上的培训等服务，从而促进了当地企业生产

能力的改进和技术水平的提高。特别当跨国公司与当地产业集群不在同一市场上竞争，而且彼此又有利益的一致性，跨国公司对技术保护的意愿大为降低，甚至协助合作伙伴提高技术水平。

3. 产业创新模式：跟随创新借梯登高

所谓模仿创新是指以率先创新者的创新成果为示范，跟随率先者并充分吸取其经验和教训，通过引进购买或反求破译等手段吸收和掌握率先创新的核心技术和技术秘密，并在此基础上对率先创新成果进行改进，进一步开发出满足市场需要的创新产品或技术的一种渐进性的创新活动。

（1）跟随创新是我国企业技术发展的有效选择　新技术的研究开发需要大量的资金和人才的投入，而新技术的探索又具有很高的不确定性和失败率，一旦失败，企业就要遭受巨大损失。而跟随创新却回避了率先者的技术研究与开发活动，跟随创新企业可冷静地观察率先者的创新行为，向多个技术先驱学习，在众多的可能性中选择最可能成功的技术成果加以引进购买，消化吸收与改进。它只能将自己的研究开发活动集中在特定的领域，主要从事渐进性的改进。这种模式具有投入少、效率高、风险低的特点。

（2）跟随创新具有良好的投入产出效益　根据著名经济学家曼斯费尔德（E. Mansfield）分别对美国和日本企业跟随创新与完全自主创新（率先创新）的相对成本与耗时所作的比较，研究结果表明：美国企业跟随创新成本是率先创新成本的65%，前者与后者平均耗时的比值为70%；日本企业跟随创新对率先创新的相对成本为50%，前者对后者的平均耗时比为72%。在技术创新的产出方面，国外学者的研究成果表明，跟随创新比率先创新亦有较大优势。例如，在创新的成功率方面，莉莲（Lilian）和尹（Yoon）通过对法国7个行业、112种工业品创新的调查分析发现，第三、四家进入市场的企业较第一、二家进入市场的企业成功率更高，前者成功率可高达87.5%和81.82%；Colder和Tellis通过对二战前后36种产品的考察，发现其中率先产品的失败率为47%，而早期跟随（可视为跟随创新）产品的失败率仅为8%。

（3）通过跟随创新实现赶超的关键在于创新　大量事实证明：跟随创新是后进国家以最小的代价，最快的速度实现技术自立的现实途径，是实现向自主创新过渡的必经阶段。历史上，美国工业的发展正是得益于对欧洲国家先进技术的跟随创新。日本二战后奇迹般的经济振兴在相当程度上得益于对美国工业技术的跟随创新。当今许多以自主创新而著称于世的大企业都曾经历过跟随创新，进行

技术积累的阶段。跟随创新是增进企业技术积累，快速提高企业创新能力的最有效途径。只有最大程度的吸取率先者的成功经验和失败教训，消化继承率先者的技术成果，在此基础上不断改进提高，才有希望超越发达国家的先进技术水平。

第 16 章　发展智能制造产业注意事项

16.1　注重智能制造产业绿色发展

重视实体经济不能走传统的老路，应充分认识到，智能制造产业的绿色发展是新一轮经济周期突破增长瓶颈的构想，是提升国际竞争力，应对全球挑战的全新战略目标。

目前，我国工业技术装备和管理水平参差不齐，高消耗、高污染的低端技术装备和产品仍占一定的比例，制造过程中的物耗、能耗和废弃物排放严重。总体表现为，主要行业的能源和资源利用效率与发达国家仍有差距。其中，钢铁行业国内平均能效水平比国际先进水平落后 6% ~7%，建材落后 10% 左右，石化落后 10% ~20%。与此同时，绿色制造技术、工艺和装备水平也有待提高。主要表现在机械装备及产品的绿色设计能力及其软件支持工具薄弱，废旧家电、汽车、工程机械等产品和机械装备资源再利用率较低，二次污染问题严重，难以满足日益快速增加的报废处理和资源循环再利用的需求。可见，通过绿色制造实现节能减排降耗、提高资源利用率的潜力和空间巨大。

我国工业有限的资源和严重的环境污染决定了我国必须走智能制造产业绿色发展道路。2014 年，我国能源消费总量达 42.6 亿 t 标准煤。其中，煤炭消费量约占全球消费量的 50%。工业尤其是制造业是能源资源消耗和污染排放的主体，工业能源消耗占全国 70% 以上，主要污染物二氧化硫、氮氧化物排放量分别占全国的 90% 和 70%，烟尘、粉尘排放量约占全国的 85% 以上。危害严重的诸多非常规污染物几乎都来源于工业领域。每立方米空气中的颗粒物含量约为世界的 1.4 倍，分别是美国、日本和韩国的 3.3 倍、2.4 倍和 1.9 倍。即使与巴西、印度等发展中国家相比，我国单位生产总值的能耗污染强度也较高。能源资源和环境损耗使我国工业增长付出了高昂的代价。我国 GDP 占世界的 15% 左右，而能耗总量占世界的 20% 以上，表明我国能源消耗强度明显高于世界平均水平。我国单位工业增加值的能耗约为世界平均水平的 1.5 倍，分别是美国、日本和韩国

的 1.5 倍、2.7 倍和 1.6 倍，相当于日本 20 世纪 80 年代中期的水平。

智能装备制造业领域的“绿色化”必须确立管理、设计、材料、工艺、生产、物流、报废、回收、循环使用等全生命周期理念。通过改进传统的制造技术、设计理念和生产方式，实现资源能源的高效清洁利用和环境影响的最小化。从环境保护角度出发，在制造的各个阶段都要充分考虑环境保护，做到可持续发展，实现人类社会和自然界的统一与和谐。

16.2 承担智能制造企业的社会责任

智能制造企业与社会之间是一种相互协调、相互制约、共生共荣的关系。和谐社会的倡导和实践，要求智能制造企业必须重新认识企业社会责任，积极承担社会责任。当前形势下，企业必须严格自律，转变思路，高度重视，积极行动。企业应树立正确的经营理念，充分认识企业与社会的密切关系，把承担社会责任上升到企业战略的高度。企业要提高承担社会责任的主动意识，在社会中树立良好的企业信誉；强化企业道德规范，提升企业伦理水准；强化企业自律精神，维护好利益相关者的利益，以求得企业实现可持续发展，扮演好一个企业公民的角色。企业在响应政府的激励机制和社会的促动机制的同时，要推进自身的企业社会责任管理，坚持与战略管理、企业文化建设紧密结合在一起，积极倡导和开展企业社会责任活动，使企业履行社会责任经常化、长效化。

智能制造企业应履行的社会职责包括两个方面：一是在企业内部，企业创造的利润，为员工提供就业岗位并创造安全生产条件，提高工资和福利待遇。企业在运行的时候，对企业的员工负责，给员工社会安全保障，依法保护其合法权益，构建各利益主体之间的和谐关系。二是在企业外部，树立诚信守法的企业形象，为社会提供物质和精神产品及各种服务，依法纳税，维护消费者合法权益，维护生态，保护环境，节约能源和原材料。此外，企业还应支持赞助社会公益事业，扶贫济困、救助灾害、帮助社会弱势群体等。这是企业积极履行社会责任的表现。企业在履行社会责任中，履行好内部职责尤为重要，只有履行和维护好内部职责，使员工队伍稳定，才能促进企业稳定和社会稳定。

智能制造企业员工社会保障是企业履行社会职责重要的一部分，社会保险是以劳动关系为基础，是劳动人事关系的附庸。企业参加社会保险是体现以人为本，保障经济、企业和社会可持续协调发展的战略重点。要实现科学发展，必须遵行社会保险的基本规律和逻辑，必须从以劳动关系为基础转变到以社会保险关

系为基础上来。要实现这一转变，前提是培育一个与就业一样的公平的社会保险发展环境。参加社会保险不仅减轻了企业的负担，也减轻了社会的负担。企业要及时为员工缴纳社会保险，使员工在当前和未来的生活能无后顾之忧。所以，参加社会保险就是企业本身为了社会责任来做的，是用企业的方式来推动和谐社会发展，是企业所做的社会投资。

16.3 积极推进标准化进程

1. 充分认识智能制造标准化的战略地位

智能制造标准体系的建设是一项重要的技术基础工作，是全球产业竞争的核心。在新技术推进和部署过程中，标准是影响全球竞争和世界贸易格局、体现一个国家自主创新能力和竞争力的重要因素。随着两化技术的深度融合，不同系统组成了复杂大系统，而复杂大系统间的互联互通离不开标准的互操作性和兼容性。制定共通标准是实现互操作、确保在不同供应商所产部件和不同技术之间实现无缝对接的保障。

2. 明确我国智能标准化现状

目前，智能制造装备产业相关的标准化工作基本以行业为单元来开展。产业涉及的国家级标准化技术委员会有 21 个，主要有金属切削机床（SAC/TC 22）、自动化系统与集成（SAC/TC 159）、工业过程测量和控制（SAC/TC 124）、农业机械（SAC/TC 201）、铸造机械（SAC/TC 186）等。这些标准化技术委员会基本覆盖了智能制造装备涵盖的所有领域。初步统计，截至 2010 年年底，已制定智能制造装备标准 208 项。其中，国家标准 171 项、行业标准 37 项；高档数控机床与基础装备标准 30 项、智能仪器仪表与控制系统标准 155 项、关键基础零部件及通用部件标准 23 项。列入计划正在制定的智能制造装备标准项目 223 项。其中，国家标准项目 171 项、行业标准项目 52 项；高档数控机床与基础装备标准项目 46 项、智能专用装备标准项目 18 项、智能仪器仪表与控制系统标准项目 153 项、关键基础零部件及通用部件标准项目 6 项。但与培育和发展智能制造装备产业要求相比，仍存在不少问题。主要体现为智能制造装备标准体系有待进一步建立与完善；标准制修订速度跟不上智能制造装备发展步伐，与科技创新、产业发展和市场运行的衔接有待加强。

3. 推进标准化建设的工作思路和目标

（1）总体思路　全面贯彻落实《中国制造 2025》，以促进制造业创新发展为

主题，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，加强顶层设计和统筹规划，充分发挥标准化在产业发展中基础性和引导性作用，加强基础通用标准和关键核心标准制修订，推动中国标准成为国际标准，构建既适合我国国情，又与国际接轨的智能制造标准体系，支撑智能制造健康有序发展。

（2）主要目标　到 2017 年，根据《国家智能制造标准体系建设指南》，按照“共性先立、急用先行”原则，完成部分基础通用标准和关键核心标准，引导智能制造试点示范工作有序推进。

到 2020 年，智能制造基础通用标准和关键核心标准基本研制完成，智能制造标准体系初步建立。结合产业和技术发展，修订发布《国家智能制造标准体系建设指南》（2020 版），对智能制造标准体系进行动态优化。

到 2025 年，建立起完善的智能制造标准体系。智能制造标准在各工业行业普遍应用，促进我国智能制造水平大幅提升，智能制造装备自主安全可控水平显著提高。

（3）建设内容

1）智能制造标准化参考模型。结合智能制造的技术架构和产业结构，从系统架构、价值链和产品生命周期等三个维度构建了智能制造标准化参考模型。其中，系统架构自下而上为设备层、控制层、管理层、企业层和网络层；价值链自下而上为制造资源、系统集成、互联互通、信息融合、新兴业态；产品生命周期自下而上为设计、生产、物流、销售、服务。

2）智能制造标准体系框架。依据智能制造标准化参考模型和重点技术领域，构建智能制造标准体系框架，包括总体、智能装备/产品、工业互联网/物联网、智能工厂/数字化车间、工业云和大数据、服务型制造和行业应用 7 个部分。

3）重点标准化方向和领域。包括总体标准、智能装备/产品标准、工业互联网/物联网标准、智能工厂/数字化车间标准、工业云和大数据标准、服务型制造标准、行业应用标准。其中，智能制造总体标准包括基础、安全、管理、评价和可靠性；智能装备/产品包括智能装备标准、智能产品标准、人机交互标准、增材制造标准、工业机器人标准和工业软件标准；工业互联网/物联网标准包括体系架构和关键技术标准；智能工厂/数字化车间包括智能工厂/数字化车间建设规划标准、制造软/硬件系统集成标准、智能设计标准、智能生产标准和智能物流标准；工业云和大数据标准体系包括数据、技术、服务、产业生态系统；服务型制造标准包括个性化定制标准、远程服务领域标准、网络众包领域标准、电子商

务领域标准；行业应用标准包括新一代信息技术产业、先进轨道交通装备和航空航天装备等十大重点领域应用标准。

4）智能制造标准体系。依据智能制造标准体系对智能制造领域相关标准进行了系统梳理。体系所涵盖的智能制造 7 大标准领域中，共有现行标准 446 项，制定中的标准 169 项；待制定标准 449 项，共计 1 064 项。

16.4 优化创新创业环境

2015 年，被誉为中国第四次创业浪潮的“众创大潮”在全国兴起。党中央、国务院陆续印发了《关于深化体制机制改革加快实施创新驱动发展战略的若干意见》、国务院办公厅《关于发展众创空间推进大众创新创业的指导意见》和国务院《关于大力推进大众创业万众创新若干政策措施的意见》。李克强总理在政府工作报告中提出“打造大众创业、万众创新和增加公共产品、公共服务‘双引擎’，推动发展调速不减势、量增质更优，实现中国经济提质增效升级”。国务院及相关部委密集出台系列政策文件推动“双创”发展，为“双创”松绑。在 2015 年全国两会上，“大众创业、万众创新”正式成为我国政府的施政纲要。

“大众创业，万众创新”既是智能制造的一大支点，也是推动经济发展的新引擎。良好的创新创业环境包括人才、资本、基础设施以及法律环境。其中，人才资源是第一资源。传统制造业升级和智能制造产业发展需要大量科技人才。国家应宏观把握科技创新人才创新创业环境，疏通创新创业通道，消除制约创新创业的思想障碍和制度藩篱。良好的法制环境是吸引科技人才特别是高端科技人才不可或缺的重要条件。把科技人才资源创新创业活动纳入法治化轨道，完善科技人才创新创业法规体系，是推动科技人才资源开发和维护科技人才权益及财产安全的重要保障。在科技人员流动、信息共享、创业融资、生活便利、完善市场体系以及薪酬等方面，形成逐步完善的法律法规和制度框架，重点针对科技人才的开发、保护和流动权益保障、人事代理条例等科技人才结构优化关键环节，深入推进人才管理的科学化、法制化。进一步放宽政策支持科研及科技成果转移转化活动，淡化人才流动地域观念，消除科技人才在岗、离岗创新创业期间的顾虑，完善市场经济条件下的权益保障体系和监督约束机制，为科技人才发挥创新创业能力提供一个有利的环境条件和良好的社会舆论氛围。

高校、研究所作为我国科研体系的重要组成部分，积累了大批科技研究成果，但众多的科研成果中实现转化的每年仅为 15% 左右，远低于发达国家 45%

的水平。目前，迫切需要优化并明确高校与科研院所科技成果转化的收益分配机制，保障成果完成人和成果所属单位的正当利益。另一方面，要推动高校和科研院所评价、考核制度改革，既高度重视高水平论文、论著成果，又切实重视知识产权成果转移转化工作，引导、激发科技人员从事成果转移转化的工作热情。此外，科研成果转移转化过程中还需要大量的技术改进和技术服务工作，应明确界定成果转移转化过程中的技术改进和技术服务工作也是科研人员的本职工作，为科研人员在岗创业提供法律保障。

16.5 注重专利与知识产权保护

为提高我国智能制造产业的知识产权创造、运用、保护和管理能力，推动智能制造产业的培育和发展，根据国家相关文件，现提出以下意见：

1. 充分认识知识产权对培育和发展智能制造产业的重要意义

智能制造产业是我国转变经济发展方式、调整产业结构的重要力量，引导着未来经济社会发展，体现了新兴科技与智能制造产业的深度融合。智能制造产业创新要素密集，投资风险大，发展国际化，国际竞争激烈，对知识产权创造和运用依赖强，对知识产权管理和保护要求高。积极创造知识产权，是抢占新一轮经济和科技发展制高点，化解智能制造产业发展风险的基础；有效运用知识产权，是培育智能制造产业创新链和产业链，推动创新成果产业化和市场化的重要途径；依法保护知识产权，是激发创新活力，支撑智能制造产业可持续发展，形成健康有序市场环境的关键；科学管理知识产权，是充分运用国内外资源，提升智能制造产业创新水平，发挥创新成果市场价值的保障。做好智能制造产业知识产权工作，关系到培育智能制造产业的成效和智能制造产业未来的发展。各地区、各有关部门要充分认识知识产权工作对培育和发展智能制造产业的重要意义，把握智能制造产业发展规律，立足当前，着眼长远，加大工作力度，切实做好智能制造产业知识产权工作，促进智能制造产业发展。

2. 明确智能制造产业知识产权工作思路和目标

（1）总体思路　以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，坚持市场驱动与政府引导相结合、分类指导与重点突破相结合、先行先试与辐射带动相结合的原则，促进知识产权创造，推动知识产权转化运用，不断提高企业知识产权管理水平，着力优化知识产权保护环境，有效推动

企业运用知识产权实现创新发展，稳步构筑知识产权比较优势，为智能制造产业快速健康发展提供有力支撑。

（2）主要目标　到2020年：

我国智能制造产业的知识产权创造、运用、保护和管理水平显著提高，知识产权有效支撑智能制造产业发展，涌现一批国际竞争力强、具有较强产业影响力和知识产权优势的企业，形成较为明显的智能制造产业知识产权比较优势。

3. 促进知识产权创造，夯实智能制造产业创新发展基础

（1）引导智能制造产业知识产权科学布局　紧密追踪市场竞争和专利技术动向，定期发布智能制造产业知识产权动态信息，引导企业和研发机构有针对性地申请或引进知识产权，构筑知识产权比较优势。建立重大经济科技活动知识产权审议制度。推动重大科技项目围绕产业发展，制定并实施知识产权战略，形成符合市场竞争需要的战略性知识产权组合。

（2）提升智能制造产业知识产权质量　建立科学有效的评价指标体系，引导企业和研发机构以市场竞争为导向不断提高知识产权质量、优化知识产权结构。逐步加大知识产权质量和市场价值在相关考核和评价中的权重。实施知识产权质量提升工程，不断提高代理机构、企业、研发机构的知识产权质量管理意识和能力。

（3）促进智能制造产业领域获得知识产权　完善知识产权申请与审查制度，建立并完善专利审查绿色通道、商标审查绿色通道和软件著作权快速登记通道。优化专利审查方式，加强关键技术专利的审查质量管理，支持智能制造产业创新成果及时获得稳定性较强的知识产权。

4. 促进知识产权市场应用，推动智能制造产业实现知识产权价值

（1）拓展知识产权投融资方式　完善知识产权投融资政策，支持知识产权质押、出资入股、融资担保。探索与知识产权相关的股权、债权融资方式，支持社会资本通过市场化方式设立以知识产权投资基金、集合信托基金、融资担保基金等为基础的投融资平台和工具。鼓励开展与知识产权有关的金融产品创新，探索建立知识产权融资机构，支持中小企业快速成长。

（2）创新知识产权转移转化形式　发挥国家科技成果转化引导基金的作用，鼓励社会资本出资促进知识产权转化，鼓励开展知识产权流转储备、转移转化风险补偿等活动。促进智能制造产业集聚区知识产权运营综合服务体系建设，培育一批在区域经济发展中发挥重要作用的知识产权运营机构。探索建立知识产权拍

卖及相关制度。加快完善知识产权入股、股权和分红权等形式的激励机制和资产管理制度。完善知识产权交易政策，加快建立知识产权评估交易机制，支持设立以知识产权转移为重点的技术转移机构，推进知识产权交易市场体系建设，促进知识产权交易。加强专利技术组合与商标保护的衔接配套，鼓励运用商标保护专利技术组合产品。

（3）构建产学研合作新机制　积极探索以合作开展共性关键技术研发为手段，以知识产权利益分享为纽带，以创新成果有效转化应用为目的的产学研合作机制。推动相关行业建立知识产权联盟。进一步落实国家财政投入形成的知识产权的运用管理政策，推动知识产权在重大科技项目关联企业和研发机构间的许可使用。

5. 加强企业知识产权管理运用能力和相关服务体系建设

（1）实施产业集聚区知识产权集群管理　在智能制造产业集聚区探索建立以优势企业为龙头，技术关联企业为主体，知识产权布局与产业链相匹配的知识产权集群管理模式。加快推动产业集聚区的知识产权公共服务平台建设，加强知识产权数据库配套、技能培训、管理咨询、维权援助等服务。推动建立产业集聚区知识产权战略支持中心。

（2）提升企业知识产权管理能力　推行企业知识产权管理标准，鼓励创建知识产权优势企业，开发核心知识产权产品，引导和鼓励企业加大经费投入，建立企业知识产权管理体系和知识产权战略实施机制。实施企业知识产权高端人才培养计划。进一步推广专业服务机构为企业培养知识产权实务人才的模式，为企业加强知识产权管理提供人才支撑。

（3）提高企业知识产权信息运用水平　建立智能制造产业知识产权统计制度，促进知识产权信息的交流与共享，引导企业有效运用海内外知识产权制度信息和智能制造产业知识产权状况信息，支持企业实现创新发展。加强行业与企业知识产权预警能力建设，完善预警机制。结合智能制造产业发展需要，分领域开发公益性专利数据库。鼓励各类机构对专利数据进行深度加工和商业推广。

（4）加强知识产权服务体系建设　实施知识产权服务机构培育项目，开展知识产权分析研究机构和管理咨询机构的培育工作，培育一批能够支撑知识产权审议，满足企业实施知识产权战略需求的服务机构。根据知识产权服务的内容特点，分类制定服务标准和服务规范，加强知识产权服务机构的服务资质管理和分级分类管理。支持专业服务机构开发知识产权管理系统和工具，为创新型中小企

业和小微企业提供全程服务。

6. 完善知识产权保护政策措施，优化智能制造产业发展环境

（1）完善知识产权保护法律法规和政策　探索制定智能制造产业领域新产品、新技术等的专利保护政策，完善相关领域的专利审查标准。积极应对新一代信息技术发展带来的挑战，完善互联网知识产权保护法律法规。

（2）加强有针对性的知识产权保护措施　定期开展有针对性的专项行动，加强智能制造产业领域知识产权执法保护。强化智能制造产业领域知识产权保护，加大智能制造产业专业市场和重大技术标准中的知识产权保护力度。加强商品流通领域的知识产权监管，探索运用现代信息技术实施商品流转环节的全程保真监控。将智能制造产业领域的维权援助纳入全国维权援助机构的中心工作，建立由企业、行业组织、研发机构和服务机构共同参与的维权援助体系。

7. 加强知识产权国际合作，支持智能制造产业企业走出去

（1）支持在国外部署知识产权　利用现有资金渠道加大对智能制造产业领域在国外申请专利的支持力度。支持我国企业和研发机构积极开展全球研发外包，在境外开展联合研发和设立研发机构，建立企业和研发机构与专利申请目的国专业服务机构的对接机制，促进我国企业和研发机构在国外申请专利。加强国际合作，进一步提高企业和研发机构在国外获取知识产权的效率。

（2）鼓励到国外运营知识产权　支持智能制造产业企业在国外成立知识产权运营公司，开展知识产权运营。引导企业在境外注册商标，积极培育国际知名商标。支持智能制造产业领域的企业、研发机构、知识产权联盟等与国外研究机构、产业集群建立战略合作关系，联合开展知识产权运营。支持行业协会、非政府组织、企业、研发机构参与智能制造产业领域国际标准制定，积极推动相关技术标准在国外推广应用。

（3）加大国外知识产权维权援助力度　收集国外知识产权专业服务机构信息，发布国外知识产权专业服务机构指导目录，方便企业在国外获得当地专业化服务。在主要贸易目的地、对外投资目的地，建立保护知识产权工作机制，进一步健全和完善相关知识产权预警应急机制、国外维权和争端解决机制，指导和帮助企业在当地及时有效得到知识产权保护。引导建立行业或知识产权联盟联合防御基金，提高企业应对国际知识产权纠纷的能力。

8. 加强组织领导协调，确保各项政策措施贯彻落实

（1）加强组织领导　知识产权局会同国家发展改革委、教育部、科技部、

工业和信息化部、财政部、商务部、工商总局、版权局、中科院等有关部门和单位，建立智能制造产业知识产权工作长效推进机制，统筹协调并指导落实相关工作。各地要建立相应协调机制，将智能制造产业知识产权工作纳入本地区重要工作议程，列入年度工作要点，统筹调配资源，推动各项政策措施落实。

（2）创新工作模式　各地区和有关部门要结合智能制造产业发展需要和工作实际，积极探索、稳步推进知识产权管理模式创新。行业协会要充分发挥作用，开展知识产权服务模式创新。

（3）积极利用财税支持政策　充分利用国家确定的各项财税支持政策，加强知识产权政策与有关财税政策的衔接配套。完善知识产权资助和费用减免政策，加大对智能制造产业的支持力度。发挥市场主体作用，支持、引导社会资金投入，逐步建立多渠道资金保障机制。加大地方资金保障力度，确保各项工作顺利开展。

参考文献

[1] 工信部．高端装备制造业“十二五”发展规划［R］．2012.

[2] 科技部．智能制造科技发展“十二五”专项规划［R］．2012.

[3] 国务院．中国制造2025［R］.2015.

[4] 卢秉恒，林忠钦，张俊．智能制造装备产业培育与发展研究报告［M］．北京：科学出版社.2015.

[5] 中国机械工程学会．中国机械工程技术路线图　简明本［M］．北京：中国科学技术出版社.2012.

[6] 雷宗友．高端装备制造产业［M］．上海：上海科学技术文献出版社.2014.

[7] 李耀新.2015世界制造业重点行业发展动态［M］．上海：上海科学技术文献出版社.2015.

[8] 中国电子信息产业发展研究院．中国装备工业发展蓝皮书　2012［M］．北京：中央文献出版社.2012.

[9] 中国工程科技发展战略研究院．中国战略性新兴产业发展报告2013［M］．北京：科学出版社.2013.

[10] 杨水根．产业链、产业集群与产业集群竞争力内在机理探讨——以湖南省工程机械产业集群为例［J］．改革与战略，2011（3）：153－156.

[11] 于祥明．政策“给力”智能制造装备上万亿“金矿”待挖掘［N］．中国高新

技术产业导报，2011－08－15（A07）.

[12] 贺正楚，吴艳．战略性新兴产业的评价与选择［J］．科学学研究，2011（5）：678－683，721.

[13] 靳茂勤．我国战略性新兴产业国际合作模式初探［J］．亚太经济，2011（6）：110－115.

[14] 王新新．战略性新兴产业发展的国际经验及启示［J］．科技管理研究，2011（23）：90－95.

[15] 张小兰．论企业战略联盟［D］．成都：西南财经大学，2003.

[16] 杨子杨．2012年《智能制造装备产业发展专项》解读［J］．中国科技投资，2012（13）：23－26.

[17] 杨子杨．“十二五”智能制造装备产业发展思路［J］．中国科技投资，2012（13）：27－32.

[18] 秦伟．《工业转型升级规划（2011—2015年）》系列解读之四　智能制造装备下一个金矿［J］．装备制造，2012（6）：52－55.

[19] 智能制造装备产业“十二五”发展路线图［J］．农业工程，2012，05：83－84.

[20 石镇山．智能制造：仪器仪表产业面临的挑战和机遇［J］．中国仪器仪表，2012（S1）：25－27.

[21] 彭礼坤．论中国企业战略联盟的发展［J］．商业研究，2007（6）：72－76.

[22] 孙陈，王章豹．我国装备制造业发展的SWOT分析及对策［J］．科技管理研究，2007（5）：163－165.

[23] 冯培恩．中国机械工程技术路线图及对行业创新的启发［J］．建设机械技术与管理，2013（7）：41－43.

[24] 左卫华．我国企业战略联盟存在问题及对策研究［D］．重庆：西南大学，2006.

[25] 左世全．我国智能制造发展战略与对策研究［J］．世界制造技术与装备市场，2014（3）：36－41，59.

[26] 陈玲．知识产权证券化法律问题研究［D］．大连：大连海事大学，2013.

[27] 孙陈．我国装备制造业行业技术创新能力与技术创新效率评价研究［D］．合肥：合肥工业大学，2007.

[28] 刘瑞林．中小型装备制造企业技术创新管理研究［D］．济南：山东大学，2009.

[29] 李响．辽宁省重点先进装备制造业产业现状及发展战略研究［D］．沈阳：沈阳理工大学，2009.
[30] 赵刚．战略性新兴产业的国际经验与我国的对策［J］．科技成果纵横，2010（1）：4－6.
[31] 工业和信息化部办公厅．苗圩：认真落实中国制造2025 大力推进装备制造业创新发展［J］．表面工程与再制造，2015，15（5）．
[32] 国务院．中国制造2025［R］．2015.
[33] 国家制造强国建设战略咨询委员会．《中国制造2025》重点领域技术路线图［M］．2015－09.
[34] 司建楠．智能制造新业态呼唤新标准［J］．装备制造，2015（11）．
[35] 工信部．国家智能制造标准体系建设指南［M］．2015.
[36] 中国教育科学研究院课题组，田慧生，曾天山，等．完善先进制造业重点领域人才培养体系研究［J］．教育研究，2016（1）．